



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL GEOTEXTIL CONVENCIONAL Y EL  
GEOTEXTIL DE YUTE QUÍMICAMENTE TRATADO EMPLEADO PARA  
MEJORAR LA CAPACIDAD PORTANTE EN OBRAS VIALES, Y SU  
EVALUACIÓN COMO ALTERNATIVA DE USO EN COLOMBIA**

**MARIA NATALIA GUATAQUIRA NUÑEZ**

**Código: 507031**

**OSCAR MAURICIO GAONA CABALLERO**

**Código: 507239**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTA D.C.  
2020**



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL GEOTEXTIL CONVENCIONAL Y EL  
GEOTEXTIL DE YUTE QUÍMICAMENTE TRATADO EMPLEADO PARA  
MEJORAR LA CAPACIDAD PORTANTE EN OBRAS VIALES, Y SU  
EVALUACIÓN COMO ALTERNATIVA DE USO EN COLOMBIA**

**MARIA NATALIA GUATAQUIRA NUÑEZ**

**Código: 507031**

**OSCAR MAURICIO GAONA CABALLERO**

**Código: 507239**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director:**

**OLGA L. ATENCIA HERRERA**

**Ingeniera Civil, MSc. Infraestructura Vial**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE GRADO**

**BOGOTÁ D.C.**

**2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

**BOGOTA D.C.**



## Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

## **DEDICATORIA**

Primeramente, damos gracias a Dios ya que sin él nada de esto hubiera sido posible, a nuestros padres, abuelos y hermanos que fueron nuestra motivación para superarnos cada día en esta etapa que fue la mejor y peor de nuestras vidas, a nuestra asesora la ingeniera Olga Atencia que además de ser nuestra guía, hizo parte de nuestra formación académica. Gracias a todos ellos y por su apoyo incondicional fue posible culminar este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A nuestros padres ya que estuvieron en los momentos buenos y no tan buenos en toda nuestra formación, por darnos su confianza, comprensión y apoyo incondicional durante toda la carrera.
- A nuestra asesora la ingeniera Olga Atencia por estar siempre dispuesta a ayudarnos, aconsejarnos y escucharnos en todo este proceso y así tener un resultado gratificante.
- A nuestros docentes ya que sin sus conocimientos y experiencia no nos sentiríamos los excelentes profesionales en los que nos hemos convertido.

## **TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN .....	16
1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.1 Planteamiento .....	18
1.2 Formulación .....	18
2 JUSTIFICACIÓN.....	19
3 ANTECEDENTES Y LIMITACIONES .....	20
4 MARCO TEÓRICO .....	22
4.1 Subrasantes.....	22
4.2 Estructuras en pavimentos .....	23
4.3 Técnicas para aumentar la resistencia de los suelos.....	23
4.3.1 Geotextil .....	23
4.3.2 Geotextil tejido.....	23
4.3.3 Geotextil no tejido.....	24
4.3.4 Geotextil de yute .....	25
4.3.5 El yute .....	26
5 MARCO LEGAL .....	28
6 ESTADO DEL ARTE.....	29
7 OBJETIVOS.....	33
7.1 Objetivo general.....	33
7.2 Objetivos específicos .....	33
8 METODOLOGÍA .....	34
CAPITULO 1 .....	36
9 FABRICACIÓN Y USO DE GEOTEXTILES CONVENCIONALES Y DE YUTE TEJIDO Y NO TEJIDO.....	36
9.1 Geotextil convencional.....	36
9.1.1 Tejidos.....	37

9.1.2	No tejidos. ....	37
9.2	Geotextil de yute .....	41
CAPITULO 2 .....		49
10	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	49
10.1	Geotextil tejido convencional .....	49
	Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil tejido convencional .....	52
10.2	Geotextil de yute tejido tratado con betún .....	52
	Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil de yute tejido tratado con betún .....	57
10.3	Geotextil no tejido convencional .....	58
	Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil no tejido convencional .....	60
10.4	Geotextil de yute no tejido tratado con betún .....	61
	Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil de yute no tejido tratado con betún .....	68
11	ANÁLISIS DE RESULTADOS LABORATORIOS.....	70
CAPITULO 3 .....		71
12	INSTALACIÓN DE GEOTEXTILES Y ANALISIS DE COSTOS .....	71
12.1	Preparación del terreno .....	71
12.1.1	Instalación del geotextil.....	72
12.1.2	Colocación de la capa granular.....	75
12.1.3	Colocación del material de conformación .....	76
12.2	ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA INSTALACION DE GEOTELTILES	77
12.2.1	ANALISIS VIDA ÚTIL.....	78
13	CONCLUSIONES .....	79
14	RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFIA .....		81



ANEXOS .....	84
--------------	----

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Estructura de pavimento .....	22
<b>Ilustración 2</b> Geotextil tejido .....	24
<b>Ilustración 3</b> Geotextil no tejido .....	25
<b>Ilustración 4</b> Geotextil de Yute .....	26
<b>Ilustración 5</b> Geotextil de yute no tejido.....	26
<b>Ilustración 6</b> Flore de Yute .....	27
<b>Ilustración 7</b> Geotextil en capa vegetal .....	29
<b>Ilustración 8</b> Colocación del geotextil .....	31
<b>Ilustración 9</b> Planta de yute .....	42
<b>Ilustración 10</b> Inmersión de plantas de yute para enjuagar .....	43
<b>Ilustración 11</b> Secado fibra de yute .....	44
<b>Ilustración 12</b> Proceso de fabricación tejido de yute .....	45
<b>Ilustración 13</b> Diseño de pavimentos flexibles para suelo CI sin refuerzo .....	56
<b>Ilustración 14</b> Diseño de pavimentos flexibles para suelo CI reforzados con yute + betún .....	56
<b>Ilustración 15</b> Geotextil no tejido .....	58
<b>Ilustración 16</b> Medidas de las capas .....	59
<b>Ilustración 17</b> Preparación del terreno .....	71
<b>Ilustración 18</b> Extendido geotextil.....	72
<b>Ilustración 19</b> Aseguración de la superficie con grapas .....	73
<b>Ilustración 20</b> Fijación de geotextil con grapas en curvas .....	73
<b>Ilustración 21</b> Traslapo geotextil.....	74
<b>Ilustración 22</b> Nomenclatura traslapos .....	74
<b>Ilustración 23</b> Colocación material granular .....	75
<b>Ilustración 24</b> Instalación material granular Método A.....	76
<b>Ilustración 25</b> Instalación material granular Método B.....	77

## TABLA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diagrama de flujo - Metodología .....	34
---	----

## TABLA DE GRAFICAS

<b>Gráfica 1</b> Crecimiento del geotextil en Estados Unidos y Canadá .....	36
<b>Gráfica 2</b> Porcentaje de grietas por flexión .....	41
<b>Gráfica 3</b> Composición química del yute .....	43
<b>Gráfica 4</b> Deformación de los geotextiles por acción de los ciclos .....	51
<b>Gráfica 5</b> Módulo resiliente.....	51
<b>Gráfica 6</b> Distribución del tamaño de partículas del suelo .....	53
<b>Gráfica 7</b> CBR % J+B = Geotextil de yute natural + betún .....	55
<b>Gráfica 8</b> Mr (MPa) J+B = Geotextil de yute natural + betún.....	55
<b>Gráfica 9</b> Valores de CBR .....	60
<b>Gráfica 10</b> Valores de CBR para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80% .....	69
<b>Gráfica 11</b> Valores de Mr para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80% .....	69

## CUADRO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Incremento de los valores CBR en algunos de los proyectos de caminos rurales que utilizan JGT .....	32
<b>Tabla 2</b> Clasificación de geotextiles .....	37
<b>Tabla 3</b> Propiedad hidráulica .....	38
<b>Tabla 4</b> Propiedad de refuerzo .....	40
<b>Tabla 5</b> Propiedad de rehabilitación .....	41
<b>Tabla 6</b> Usos geotextil .....	48
<b>Tabla 7</b> Propiedades del material de la subrasante .....	49
<b>Tabla 8</b> Propiedades del geotextil tejido (TFI 5200) .....	50
<b>Tabla 9</b> Propiedades de las capas .....	50
<b>Tabla 10</b> Propiedades del suelo de la subrasante principal .....	53
<b>Tabla 11</b> Propiedades físicas del betún .....	54
<b>Tabla 12</b> Análisis de rendimiento usando el programa KENLAYER .....	57
<b>Tabla 13</b> Propiedades del geotextil no tejido .....	59
<b>Tabla 14</b> Valores del ensayo CBR .....	60
<b>Tabla 15</b> Composición del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de área de 200 a 400 g/m <sup>2</sup> .....	61
<b>Tabla 16</b> Composición del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de área de 500 a 700 g/m <sup>2</sup> .....	62
<b>Tabla 17</b> Composición del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de área de 800 a 1000 g/m <sup>2</sup> .....	62
<b>Tabla 18</b> Datos experimentales sobre las propiedades dimensionales y funcionales de muestras de telas no tejidas perforadas con aguja tratadas con betún (betún emulsionado) seleccionadas de una amplia gama de GSM (600-1.000 gsm) .....	64
<b>Tabla 19</b> Datos experimentales de esperanza de vida (durabilidad) de algunas telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute tratadas con betún después de la optimización de las propiedades geotécnicas .....	65
<b>Tabla 20</b> Valores de penetración y presión ensayo CBR .....	66
<b>Tabla 21</b> Valor del esfuerzo para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80% .....	66
<b>Tabla 22</b> Valor de CBR % para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80% .....	67
<b>Tabla 23</b> Valor de Mr (MPa) para muestra de tela 5c con adición de betún del 80% .....	67

<b>Tabla 24</b> Disminución de la permeabilidad del agua, permitividad y tamaño de apertura aparente .....	68
<b>Tabla 25</b> Resumen de los laboratorios .....	70
<b>Tabla 26</b> Evaluación de la subrasante.....	70
<b>Tabla 27</b> Ancho de traslapos .....	75
<b>Tabla 28</b> Costo total .....	77

## TABLA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> APU excavación GTC .....	84
<b>Anexo 2</b> APU instalación GTC .....	85
<b>Anexo 3</b> APU relleno subbase GTC .....	86
<b>Anexo 4</b> APU relleno base GTC.....	87
<b>Anexo 5</b> APU excavación GYT .....	88
<b>Anexo 6</b> APU instalación GYT .....	89
<b>Anexo 7</b> APU relleno subbase GYT .....	90
<b>Anexo 8</b> APU relleno base GYT.....	91
<b>Anexo 9</b> APU excavación GNTC.....	92
<b>Anexo 10</b> APU instalación GNTC.....	93
<b>Anexo 11</b> APU relleno subbase GNTC .....	94
<b>Anexo 12</b> APU relleno base GNTC .....	95
<b>Anexo 13</b> APU excavación GYNT .....	96
<b>Anexo 14</b> APU instalación GYNT .....	97
<b>Anexo 15</b> APU relleno subbase GYNT .....	98
<b>Anexo 16</b> APU relleno base GYNT .....	99

## **GLOSARIO**

**CBR:** (California Bearing Ratio). Prueba de penetración para comprobar las características mecánicas del suelo.

**DEFORMACIÓN:** Deformación se refiere al cambio que sufre un cuerpo o cosa tras haberle aplicado una serie de fuerzas externas, como tensión o compresión, que producen la variación de su tamaño o forma natural.

**ESFUERZO:** Se define como la fuerza que actúa sobre un cuerpo para deformarlo.

**ESTRUCTURA DE PAVIMENTO:** Está formada por capas de resistencia decreciente con la profundidad. Generalmente se componen de carpeta de rodadura, base, subbase y subrasante.

**GEOTEXTIL:** Es una malla compuesta por fibras sintéticas cuyas funciones principales se basan en su resistencia mecánica a la perforación y tracción, y a su capacidad drenante.

**MÓDULO RESILIENTE (MR):** Esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable.

**PROPIEDADES FÍSICAS:** Es aquella que se basa principalmente en la estructura del objeto, sustancia o materia, que es visible y medible.

**PROPIEDADES QUÍMICAS:** Son las que altera la estructura interna o molecular de una sustancia al interactuar con otra sustancia creando una nueva.

**SUBRASANTE:** Es la última capa en la que se apoya la estructura de pavimentos.

**YUTE:** Fibra textil que se extrae de la corteza interior de esta planta.

## **RESUMEN**

Los geotextiles están hechos por materiales de polipropileno, poliéster y en los últimos años de fibras naturales debido a su economía y compatibilidad con el medio ambiente, estos pueden ser de tipo tejido y no tejido. Se utilizan para cumplir funciones de refuerzo, separación, filtración y drenaje en los suelos, evitando la erosión, el paso de finos entre capas y la degradación del suelo. En infraestructuras viales, los geotextiles son uno de los materiales más demandados por las propiedades que aporta a las capas de pavimento especialmente en la subrasante. En el presente trabajo se determinó la viabilidad de implementar un nuevo geotextil de fibra natural de yute tratada químicamente con betún en las vías de Colombia por medio de una comparación entre el geotextil convencional y el geotextil de yute, teniendo en cuenta su fabricación, características físico mecánicas en el suelo de una subrasante, su costo de instalación y vida útil, siendo apto el geotextil de yute tejido tratado químicamente con betún para vías terciarias de bajo volumen.

## INTRODUCCIÓN

El bajo nivel de inversión en infraestructura vial por parte del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) han provocado que esta inversión aumente a 261.000 millones, que con lo estipulado por el Banco Mundial es una cantidad pequeña ya que no se recomienda asignar menos el 0.4% del PIB y esta suma equivale al 0.03% del PIB.

En Colombia, siete de cada diez kilómetros de la red de carreteras pertenecen a una vía terciaria, donde el 96% se encuentra en mal estado. El Departamento Nacional de Planeación (DNP), indica que la cuarta parte de todas las vías terciarias están en tierra, y a pesar de que no tengan pavimento este no es un mal indicador, ya que con un buen mantenimiento puede ser transitable y duradera. Las vías que no tienen asfalto el 45,4% está en mal estado y 36,1% en estado regular, además, con pavimento está poco menos de 8.000 kilómetros (solo 33,5% está en buen estado). La inversión para su mantenimiento y mejoramiento costaría alrededor de \$50 billones durante los próximos 12 años aproximadamente y desde el punto de vista económico, la inversión sería aún mayor si no se tienen en cuenta nuevas alternativas.

Las carreteras generalmente se deterioran debido a la disminución de su vida útil, por razones de uso y ambientales, haciendo que la falla de la subrasante ocurra con frecuencia en especial en suelos blandos, donde se tiene baja resistencia al corte y relación de soporte de California (CBR), alta compresibilidad, potencial de licuefacción y asentamiento diferencial. La infraestructura vial al ser uno de los principales medios de transporte, puede generar un gran crecimiento económico a nivel nacional, creando la necesidad de tener una malla vial de gran calidad con la implementación de nuevas alternativas donde ofrecen mayor comodidad, seguridad, agilidad, entre otras, siendo una de estas los geotextiles.

Los geotextiles están compuestos por materiales sintéticos no biodegradables. Son fibras permeables y flexibles las cuales cumplen funciones de separación, drenaje, filtración y refuerzo. Estos pueden ser tejidos y no tejidos dependiendo de su función, siendo una buena herramienta para controlar problemas geotécnicos. Su impacto en la ingeniería civil al ser usado en diferentes obras constructivas ha tenido un crecimiento excepcional a nivel mundial, especialmente reforzando los suelos de las subrasantes y capas granulares de los pavimentos, brindando alta resistencia mecánica e hidráulica. Además, actualmente se busca implementar nuevas tecnologías que sean amigables con el medio ambiente para evitar la alta contaminación que se produce día a día y contribuir a su disminución.

El geotextil de yute es la variante natural de los geotextiles, denominados geosintéticos que abarcan tanto geotextiles artificiales como naturales. Las fibras naturales se obtienen de cuatro fuentes: fibra mineral, fibra animal, fibra de madera



y fibra vegetal, siendo esta última la más apta para fabricar geosintéticos naturales y el yute la fibra natural ideal debido a su disponibilidad, buena capacidad de hilado y propiedades físicas adecuadas. Esta fibra al ser tan versátil puede fabricar tanto telas tejidas como no tejidas con buenas propiedades.

A partir de experimentos en el laboratorio de la Universidad Estatal de Singapur “después de la colocación del geotextil de yute tratado en la subrasante, el suelo se endurece y se consolida en menos de un año bajo la acción de la sobrecarga de la subbase granular, el peso propio del pavimento, la rodadura y cargas de tráfico. Con el tiempo, la subrasante se vuelve cada vez menos dependiente de la tela para su estabilidad, lo que hace que la durabilidad a largo plazo de JGT sea algo redundante”<sup>1</sup>. Se observó que la alta resistencia inicial y la resistencia al desgarramiento del yute hicieron que actuara como una membrana de soporte que redistribuye las cargas de tráfico en un área más amplia del subsuelo haciendo que a la aplicación de una capa de subrasante reforzada con fibra de yute modificada mejore la resistencia del suelo de la subrasante, manteniendo intacta su biodegradabilidad durante el período de diseño.

Por ese motivo, este proyecto tiene como fin evaluar la viabilidad de implementar el geotextil de yute en la infraestructura vial de Colombia aumentando la capacidad portante, generando una reducción significativa en los costos de operación y mejorando la calidad de la subrasante ya que se puede utilizar eficazmente como material de refuerzo que no solo impulsa la economía rural, sino que también contribuye en gran medida a la reducción de la huella de carbono.

En el documento se expondrá la diferencia entre el geotextil de yute y el geotextil convencional, en el primer capítulo se mostrará su proceso de fabricación y uso, en el segundo capítulo se mostrarán los laboratorios encontrados con sus respectivos valores de CBR y Mr obtenidos y el análisis de estos mismos y en el tercer capítulo se mostrará el análisis de costos de la instalación y vida útil de cada geotextil para determinar su viabilidad e implementación en Colombia.

---

<sup>1</sup> Sanyal T. Strengthening of Road Sub-grade with Jute Geotextiles. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 65-88. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_6](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_6)

# **1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1 Planteamiento**

En el ranking de los Indicadores de Competitividad Global del Foro Económico Mundial se encuentra que la infraestructura colombiana ha perdido competitividad, ubicándolo en el puesto 110 de 137 países.

Adicionalmente, los resultados de diagnósticos viales indican que, los suelos pueden tener características variables, presentando contenido de materia orgánica, permeabilidad, baja cohesión, asentamientos considerables y baja capacidad portante. Las vías construidas sobre suelos blandos se deterioran significativamente bajo cargas estáticas y dinámicas provocando otro aumento sustancial en los costos de mantenimiento. Este suelo puede ser tratado por compactación, adición de cemento o cal, instalación de geosintéticos, entre otros. Con base en esto, una solución son los geotextiles, un derivado petroquímico impermeable que ha tenido un impacto positivo mejorando la resistencia y el comportamiento del suelo, controlando la erosión y filtración, extendiendo su vida útil ya que su degradación es lenta, haciendo que su implementación sea viable.

Actualmente, han surgido amenazas debido a la disminución de las reservas de petróleo y la creciente degradación ambiental. Esto ha impulsado a usar alternativas naturales siempre que sea posible. Los países desarrollados se están inclinando hacia la adopción de medidas de bioingeniería para abordar los problemas relacionados con el suelo, convirtiéndose las fibras de origen vegetal en los materiales más buscados del siglo XXI, siendo uno de estos el geotextil de yute.

Sumado a esto, la escasez de algunos de los materiales y el alto precio de construcción hacen que se requiera adoptar una técnica de refuerzo del suelo porque la remoción y el reemplazo de este traerán consigo una pesada carga económica.

## **1.2 Formulación**

¿De acuerdo a las características obtenidas por la comparación entre el geotextil convencional y el geotextil de yute, es factible implementar este último en las vías de Colombia?

## 2 JUSTIFICACIÓN

En Colombia la necesidad de mantener un suelo estable y duradero es cada vez más frecuente, ya que la geotecnia del país es crítica, y representa un gran reto para los ingenieros y la inversión que se realiza sobre la infraestructura vial no es la más óptima, ya que solo el 0,03% del PIB.

Para lograr favorecer y mantener la malla vial se deben de tomar alternativas dentro de estas se estableció que los geotextiles son una buena opción para el mejoramiento de las subrasantes de los suelos.

Los métodos utilizados para la estabilización del suelo incluyen procesos físicos y químicos los cuales aumentan la cohesión y la fricción de los materiales de la mezcla.

- Estabilización física: Se utiliza para mejorar el suelo realizando cambios físicos en el terreno de los cuales se utiliza las mezclas de suelo, de por si este método tiene diversidad de usos, pero no logra la resistencia necesaria por lo que siempre es recomendado realizar una compactación como complemento.

Los suelos granulares tienen una alta fricción interna, por esta razón soportan grandes esfuerzos, pero no es suficiente para darle una resistencia adecuada ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso constante de los vehículos se presenta falla.

Por otro lado, las arcillas, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que implica que pierdan estabilidad en presencia de alta humedad. La unión de estos dos materiales crea un terreno adecuado aprovechando las cualidades de cada uno.

Para lograr esto se utilizan: Geotextiles, vibro flotación y consolidación previa

La comparación entre los diversos geotextiles es necesaria para garantizar que se utiliza el más adecuado dependiendo las condiciones del suelo sobre el que se está trabajando y garantizando el reforzamiento requerido, dentro de la familia de los geotextiles se encuentran las convencionales y el más reciente que es el de Yute. Esta nueva alternativa tiene un potencial en cuanto la reutilización de lo que ofrece el medio ambiente y la diversidad de soluciones que puede aportar al campo de la ingeniería civil tanto en resistencia y efectividad de uso como la posible solución a la optimización de recursos en una obra, se estudia su comportamiento y funcionamiento de acuerdo a su utilización y lo que la norma establezca.

### 3 ANTECEDENTES Y LIMITACIONES

Desde hace varios años se han buscado tecnologías que permitan aumentar la resistencia de los pavimentos por esta razón en Colombia desde los años 70 se han implementado materiales que cumplan con distintas funciones como refuerzo y estabilización de los pavimentos. En 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura de pavimentación.

El experimento fue desarrollado en el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos. Este ensayo consistió básicamente en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base del pavimento flexible para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena. Nueve años después se publicaron los resultados que permitieron demostrar que al implementar un tipo de refuerzo en el pavimento se mostraba una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes de que la fibra se deteriorara completamente.<sup>2</sup> Por esta razón desde hace varios años se crearon tecnologías que aumentan la resistencia de las distintas capas del pavimento, pero en el siglo 20 se tienen que desarrollar tecnologías que si aumenta la capacidad portante de los suelos pero que también contribuyan a disminuir los impactos y la contaminación que se generan en los últimos años.

Dentro de los diversos campos de la ingeniería se puede analizar que una de las ramas principales son las vías, estas están compuestas por diversos factores, entre una de ellos están las mezclas asfálticas.

Y día a día se busca el mejoramiento de estos diversos factores, se da paso a la utilización de materiales alternativos como aditivos para el aumento de la resistencia de un pavimento, el aumento de la capacidad portante de un suelo o simplemente la estabilidad de un terreno. Bolivia es uno de los primeros países en Latinoamérica en desarrollar investigaciones en cuanto a la utilización de materiales reciclables para la implementación en mezclas asfálticas de esta manera se analizó el crecimiento de la resistencia, durabilidad de los acabados y un costo beneficio.

“El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad comprobar que es posible la elaboración de una mezcla asfáltica con material de los residuos de construcción y demolición, susceptible de ser empleada en la reparación o bacheo de pavimentos. El estudio consistió básicamente en recolectar residuos reciclables en obras seleccionadas, consiguiendo agregados pétreos por trituración que sirvieron

---

<sup>2</sup> SCRIBD. Resumen primera ponencia. {en línea} {18 agosto de 2020} disponible en <https://es.scribd.com/document/353861579/Resumen-Primera-Ponencia>.

para preparar una mezcla asfáltica, la cual fue sometida a distintas pruebas en campo y laboratorio para determinar su comportamiento mecánico. Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los rangos aceptados por norma. Finalmente se efectuó un análisis de costos por metro cúbico de muestra reciclada que revela un ahorro del 14% en relación a una mezcla tradicional a costo directo.”<sup>3</sup>

Todas estas nuevas alternativas generan que Colombia sea uno de los primeros países en realizar investigaciones, de esta manera garantizar que está a la vanguardia de nuevas tecnologías y en disposición de un cambio.

El propósito de este trabajo es determinar la viabilidad de la implementación del geotextil de yute en las vías de Colombia para mejorar la calidad de la subrasante y así mismo la malla vial con alternativas naturales que disminuyan los costos y la huella carbono. La limitación que se presenta es la poca información existente en las bases de datos, ya que el geotextil de yute es un material nuevo en el ámbito de la ingeniería civil y no se ha implementado en muchos países.

---

<sup>3</sup> Ecorfan. Mezclas asfálticas con materiales alternativos de construcción y demolición para la relación de pavimentos {2014} disponible en <https://www.ecorfan.org/bolivia/handbooks/ciencias%20tecnologicas%20I/Articulo%206.pdf>

## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 Subrasantes

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. <sup>4</sup>

Ilustración 1 Estructura de pavimento



**Fuente:** Slideshare, Pavimentos flexibles y regidos

[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

---

<sup>4</sup> SCRIBD. Estudio de la capacidad de soporte de la subrasante. {en línea} {2 septiembre de 2020} disponible en <https://es.scribd.com/document/376745243/Estudio-de-La-Capacidad-de-Soporte-de-La-Subrasante>

## **4.2 Estructuras en pavimentos**

El dimensionamiento de una estructura de pavimento consiste en determinar los espesores de cada una de las capas asociados a los tipos de materiales (rigidez) que la componen, garantizando el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Brindar comodidad y seguridad a los usuarios.
- Ser resistentes ante los efectos ambientales.
- Ser durables.

## **4.3 Técnicas para aumentar la resistencia de los suelos**

Las técnicas para aumentar la resistencia de suelos con baja capacidad portante en proyectos de construcción y obras han evolucionado en los últimos años, de forma que, actualmente, nos permiten ejecutar infraestructuras en obras de mayor calidad y resistencia, en unos plazos de tiempo y costes más ajustados.

Cuando se realizan proyectos de construcción sobre suelos blandos, éstos pueden transmitir una presión de contacto, generando esfuerzos cortantes que pueden llegar a superar la resistencia al corte del suelo, causando una falla en la base del terraplén.<sup>5</sup>

### **4.3.1 Geotextil**

El geotextil es un material textil sintético plano formado por fibras poliméricas (polipropileno, poliéster o poliamidas), similar a una tela, de gran deformabilidad, empleada para obras de ingeniería en aplicaciones geotécnicas (en contacto con tierras y rocas), cuya misión es hacer las funciones de separación ó filtración, drenaje, refuerzo o impermeabilización.

### **4.3.2 Geotextil tejido**

Los geotextiles tejidos son aquellos que se fabrican tejiendo tiras de cintas entrecruzadas, al entrelazar dos o más fibras, hilos o filamentos. Se pueden tejer tanto de forma transversal (trama), como longitudinal (urdimbre) y normalmente

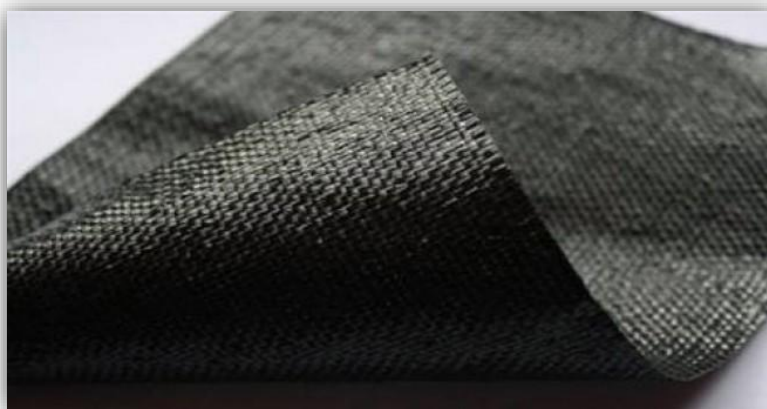
---

<sup>5</sup> TEXDELTA. como aumentar la resistencia de los suelos con baja capacidad portante. {en línea} {2 septiembre de 2020} disponible en <https://texdelta.com/blog/como-aumentar-la-resistencia-de-los-suelos-con-baja-capacidad-portante-en-proyectos-de-construccion/>

ofrecen un tipo de resistencia a tracción conocida como biaxial (en los dos sentidos de su fabricación).

Estos tipos de geotextiles tejidos se emplean principalmente en la construcción y realizan funciones de separación y refuerzo. Se aplican principalmente en proyectos ferroviarios, pistas de aterrizajes, campos deportivos.

**Ilustración 2** Geotextil tejido



**Fuente:** Tex delta, geotextil tejidos usos y aplicaciones  
<https://texdelta.com/blog/geotextil-tejido-usos-y-aplicaciones/>

#### **4.3.3 Geotextil no tejido**

Los geotextiles no tejidos son materiales textiles planos, permeables y compuestos por fibras poliméricas termoplásticas. Normalmente están realizados por fibras de polipropileno o poliéster. Las principales funciones de los geotextiles no tejidos son el drenaje y filtración, ya que dejan pasar el agua y permiten retener finos. Además, tienen otros usos como separación para terrenos con diferentes propiedades físicas, reforzar y estabilizar el suelo; y proteger barreras impermeables. Normalmente, los geotextiles no tejidos se pueden aplicar en proyectos como: carreteras, ferrocarriles, obras hidráulicas, drenajes, contención de taludes, túneles o vertederos.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup>GEOTEXAN. Geosintéticos. {en línea} {2 septiembre de 2020} disponible en <https://geotexan.com/diferencia-entre-geotextiles-tejidos-y-no-tejidos/>



**Ilustración 3** Geotextil no tejido



**Fuente:** Ferregroup, geotextil no tejidos  
<https://www.ferregroup.com.co/producto/geotextil-no-tejido/>

#### **4.3.4 Geotextil de yute**

EL geotextil de yute se utiliza para el control de la erosión principalmente. Gracias a ellos se consigue una mayor estabilidad del suelo, una mayor protección frente al desgaste, un mayor drenaje y una libre filtración del agua a través del mismo. También es muy utilizado en la separación de capas de suelo de diferentes propiedades. Se emplea sobre todo en ingeniería civil, en la construcción de sub-bases de carreteras y ferrocarriles, en muros de contención, canales y presas. Un material imprescindible para retrasar la erosión y el desgaste que el paso del tiempo provoca.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Geotextil de yute de 292 gr/m2 en ancho de 122cm. {en línea} {3 septiembre de 2020} disponible en <https://www.deyute.com/producto/geotextil-de-yute/89>

**Ilustración 4** Geotextil de Yute



**Fuente:** Jute Geotextiles: Its Types and Functions  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-10-1932-6\\_3](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-10-1932-6_3)

**Ilustración 5** Geotextil de yute no tejido



**Fuente:** Jute Geotextiles: Its Types and Functions  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-10-1932-6\\_3](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-10-1932-6_3)

#### **4.3.5 El yute**

Comúnmente conocido como yute, el *Corchorus Capsularis* es una planta tropical de la que se extrae dicha fibra. Junto con el algodón, son las dos fibras naturales más utilizadas a nivel mundial. Existen distintas especies que pueden ser

explotadas para producirlo, pero son principalmente el *Corchorus capsularis* y el *Corchorus Olitorius* las más utilizadas.

La planta es de tipo herbáceo con una altura que ronda los 3-4 metros de altura y tiene un grosor de unos dos centímetros de diámetro. Sus hojas pecioladas, de limbo triangular, tienen unos 15 centímetros de largo por 5 centímetros de ancho. Éstas son pequeñas y de color amarillo. De toda la planta, la parte de donde realmente se saca la fibra de yute, es de los vasos de floema situados bajo el tallo principal.<sup>8</sup>

**Ilustración 6** Flore de Yute



**Fuente:** Deyute <https://www.deyute.co>

---

<sup>8</sup> Yute significado | Fibras Naturales | Deyute. {en línea} {12 Septiembre 2020} disponible en <https://www.deyute.com/es/el-yute-deyute>

## **5 MARCO LEGAL**

Cada tecnología implementada debe tener su respectiva norma de control para poder medir los parámetros de calidad de acuerdo con el producto y por ende con el tipo de obra a ejecutar.

En Colombia, la normatividad ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) fue adoptada por el INVIAS y para el caso específico de los geosintéticos, se establecen los parámetros de control bajo las siguientes normas:

- Separación suelos subrasante y capas granulares con geotextil (Artículo 231)
- Estabilización suelos subrasante y capas granulares con geotextil (Artículo 232)
- Pavimentación y repavimentación con geotextiles (Artículo 464)

Además, el Instituto Nacional de Vías es la autoridad que determina el procedimiento para adoptar la regulación técnica de nuevas tecnologías para la infraestructura de transporte que se rige con la Resolución 263 del 31 de enero de 2020.

## 6 ESTADO DEL ARTE

Los asfaltos modificados son uno de los temas más importantes a nivel mundial, ya que siempre se está en busca de nuevas alternativas que ayuden con el medio ambiente y generen más productividad con un precio más razonable. Todo esto nos lo explica en una de las investigaciones realizada por el Ing. Civil Alexander Rondón con su investigación titulada “behavior of a dense mixture of asphalt in warm modified with waste of polychloride of vinyl”<sup>9</sup>, en donde se visualiza la utilización del PVC como un material reciclable como aditivo dentro de la mezcla asfáltica.

Los geotextiles están fabricados con polímeros no biodegradables como las poliolefinas o poliésteres, estos materiales pueden implicar problemas ambientales relacionados con la contaminación del suelo y la acumulación de microplásticos de acuerdo a un estudio que realizaron llamado “Biodegradable geotextiles – An overview of existing and potential materials” donde utilizan geotextiles de fibra natural y polímeros biodegradables este artículo de investigación tiene como objetivo realizar telas de geotextiles hechas en fibras vegetales que presentan buenas características en cuanto a funciones filtro y drenaje son de bajo costo junto a otras características como su baja densidad y alta tenacidad.

**Ilustración 7** Geotextil en capa vegetal



**Fuente:** Biodegradable geotextiles – An overview of existing and potential materials.

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/reader.action?docID=3185176&query=asfalto>

---

<sup>9</sup> e-libro. Behavior of a dense mixture of asphalt in warm modified with waste of polychloride of vinyl. {en línea}. 2008. {12 Septiembre 2020} Disponible en <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/reader.action?docID=3185176&query=asfalto>

El artículo define que los geotextiles con una vida útil mucho más corta están diseñados para degradarse después de un cierto período de tiempo. Estos materiales se utilizan para prevenir la erosión del suelo hasta la siembra. Por lo tanto, el geotextil debería degradarse después de un par de meses o años en componentes compatibles con el medio ambiente, con la obvia necesidad de volver a recolectar material.<sup>10</sup>

De esta forma da paso a la utilización de materiales reciclables utilizados en este campo, no solamente en asfalto sino en el aumento de la resistencia de la capacidad portante de un suelo, la estabilidad de un terreno entre otros.

La conclusión de la Federal Highway Administration, indica que los geotextiles pueden controlar con eficiencia las agrietamientos inducidos por flexión. Además, recomienda intensificar la investigación mediante el estudio de tramos de prueba. Debe recordarse siempre que un geotextil no soluciona problemas de tipo estructural y muchos menos relacionados con el subdrenaje. Su uso es particularmente importante en la rehabilitación y refuerzo de los pavimentos, pues impide o retarda la reflexión de las grietas existentes en carpetas antiguas, cuando se colocan sobrecarpetas como refuerzo. En México, se han utilizado ya geotextiles en los aeropuertos de Chihuahua, León, Guaymas Sonora, Mazatlán, Guadalajara, Ciudad Obregón y Santa Lucía, sumando un total de más de 400 000 M2, con resultados y ventajas muy satisfactorias. Adicionalmente las ventajas del uso del Geotextil en los pavimentos son:

- 1.- Rapidez y suma facilidad a la hora de su instalación.
- 2.- Ahorro de materiales de pavimentación y prolongación de la vida útil de los pavimentos.
- 3.-Sirve como refuerzo tanto a pavimentos rígidos, como a los flexibles.
- 4.- Impermeabiliza el pavimento, impidiendo la falla de la sub-base por disminución de la resistencia al esfuerzo cortante causada por la presencia de agua.

Muchos Ingenieros consideran que los materiales tienen mala durabilidad, cuando sus características han decrecido cuando han sido puestas a trabajar por un corto lapso. Orígenes y degradaciones establecidos en los geotextiles. Dentro de las características hidráulicas tenemos la filtración, esto existe en todos los materiales,

---

<sup>10</sup> Han, J., & Thakur, J. K. (2015). Sustainable roadway construction using recycled aggregates with geosynthetics. Sustainable Cities and Society.

y afecta de manera considerable a los geotextiles, ya que las fibras y polímeros, constituyentes naturales de los geotextiles tienden a degradarse de una manera rápida bajo los efectos del agua. Dentro de sus características mecánicas la que resulta más afectada es la resistencia a la tensión, debido al arrastre de las capas de terreno conocido como "creep". Esto va a depender de las deformaciones del geotextil conforme el tiempo transcurre. El arrastre de las capas va a depender de las dimensiones del geotextil, así como de la temperatura a que trabajan, las partes que van a estar sometidas a las altas temperaturas deberán de ser protegidas con radiaciones UV, estas radiaciones lo que hacen es proteger al geotextil en forma eficiente.

**Ilustración 8** Colocación del geotextil



**Fuente:** GEOPOLIMEROS <https://www.geopolimerossas.com/geotextiles-tejidos.html>

En Suecia en ciertas áreas del norte, los geotextiles, son muy usados para separar las capas entre materiales, cuando los caminos están dañados. Por muchas razones solo se aplican los geotextiles en capas delgadas de (150 - 300 mm). En estudios realizados se observó que después de uno o dos años los geotextiles sufrieron daños de abrasión en diversos casos.

Los estudios mostraron que el geotextil de un espesor de 250' mm, el cual ya había estado en la autopista por seis años, estaba intacto, éste fue considerado en que su función principal no fue afectada. Sin embargo, en algunas partes de la muestra, el geotextil había sido seriamente dañado, principalmente alrededor de los agujeros, esto fue debido a que, en temporada de lluvias, los agujeros se llenaron de agua y el geotextil la absorbió, dicha agua fue evaporada por el clima causando en el geotextil una resequedad y consecuentemente una ruptura. De un estudio posterior se obtuvo que los geotextiles que tienen un peso de por lo menos 130-150 g/m<sup>2</sup> son

los más aptos para usarse en carreteras con excesivo tránsito vehicular, y lugares donde ocurren frecuente heladas y deshielos.<sup>11</sup>

La utilización del geotextil de yute ha dado grandes resultados por los beneficios que trae para la subrasante, aunque cuenta con una vida de biodegradación corta logra generar la resistencia necesaria para que la estructura no presente fallas de agrietamiento o ahuellamiento, en la tabla 1 se presentan el aumento del CBR en diferentes lugares donde se probó este geotextil.

**Tabla 1** Incremento de los valores CBR en algunos de los proyectos de caminos rurales que utilizan JGT

Sl No.	Road sites	State & District	Year of construction	Initial Subgrade CBR (%)	Using Woven JGT CBR value (%)		
					15KN	20KN	25KN
1.	Kakinada Port Connecting Road	A.P Kakinada	1997	1.61	-	4.7 (after 30 months)	-
2.	Munshirhat Rajput Road	W.B Howrah	2001	3.5	-	6.0 (after 1 year)	-
3.	Andulia to Boiratala Road	W.B N. 24 Parganas	2005	3.22	-	10.47 (after 18 months)	-
4.	U. T. Road to Jorabari	Assam Darrang	2006	4.0	13.45 (after 23 months)	14.00 (after 23 months)	-
5.	Rampur Satra to Dum Dumia	Assam, Nagaon	2006	3.0	12.9 (after 23 months)	19.7 (after 23 months)	-
6.	Chatumari to MDR-14	Orissa, Jajpur	2006	3.0	8.8 (after 23 months)	8.73 (after 23 months)	-
7.	Gehlwan village to PMGSY road	M.P Raichem	2007	2.0	10.6 (after 23 months)	15.5 (after 23 months)	-
8.	Khairjithi to Ghirgosha	Chhatisgarh, Kawardaha,	2007	2.0	10.65 (after 23 months)	15.5 (after 23 months)	-
9.	Udal to Chakrabrahma	W.B D. Dinajpur	2011	2.8	-	-	7.82 (after 38 months)
10.	Nihinagar to Hazratpur	W.B D. Dinajpur	2011	2.2	-	-	7.55 (after 26 months)
11.	Bagdimarimulo Barada Nagar to Domkal Kheyaghat	W.B South 24parganas	2013	3.6	-	-	5.54 (after 16 months)
12.	Kansa to Bati	W.B Mursidabad	2013	3.9	-	-	7.2 (after 16 months)
13	Promod Nagar to Muga Chandra Para	Tripura West Tripura	2013	7.0	-	-	9.51 (after 18 months)
14.	V. Koracharahatti to T-10 Road	Karnataka Davanagere	2012	4.0	-	-	11.8 (after 16 months)
15.	Devarahospet to Gundur	Karnataka Havery	2012	4.3	-	-	12.1 (after 16 months)

**Fuente:** JUTE GEOTEXTILES IN ROADS ECONOMICS DESIGN ELEMENTS

[http://www.jute.com/documents/10437/0/JUTE\\_GEOTEXTILES\\_IN\\_ROADS\\_ECONOMICS\\_DESIGN\\_ELEMENTS.pdf/d31f0836-285a-4c40-af7c-f7ba80602969](http://www.jute.com/documents/10437/0/JUTE_GEOTEXTILES_IN_ROADS_ECONOMICS_DESIGN_ELEMENTS.pdf/d31f0836-285a-4c40-af7c-f7ba80602969)

<sup>11</sup> INSTITUTO TECNICO DE CONSTRUCCIÓN, A.C. {En línea}. {15 de noviembre 2016}. Disponible en: [https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Sanchez\\_Garcia\\_Laura\\_Elena\\_44622.pdf](https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Sanchez_Garcia_Laura_Elena_44622.pdf)



## **7 OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo general**

Comparar las propiedades que aporta al tratamiento de una subrasante un geotextil convencional versus las que aporta un geotextil con fibras de yute tratadas, mediante la evaluación del aporte proporcionado en las características físico mecánicas (CBR y Módulos); incluyendo, un análisis de costos entre ambos materiales para su uso en Colombia.

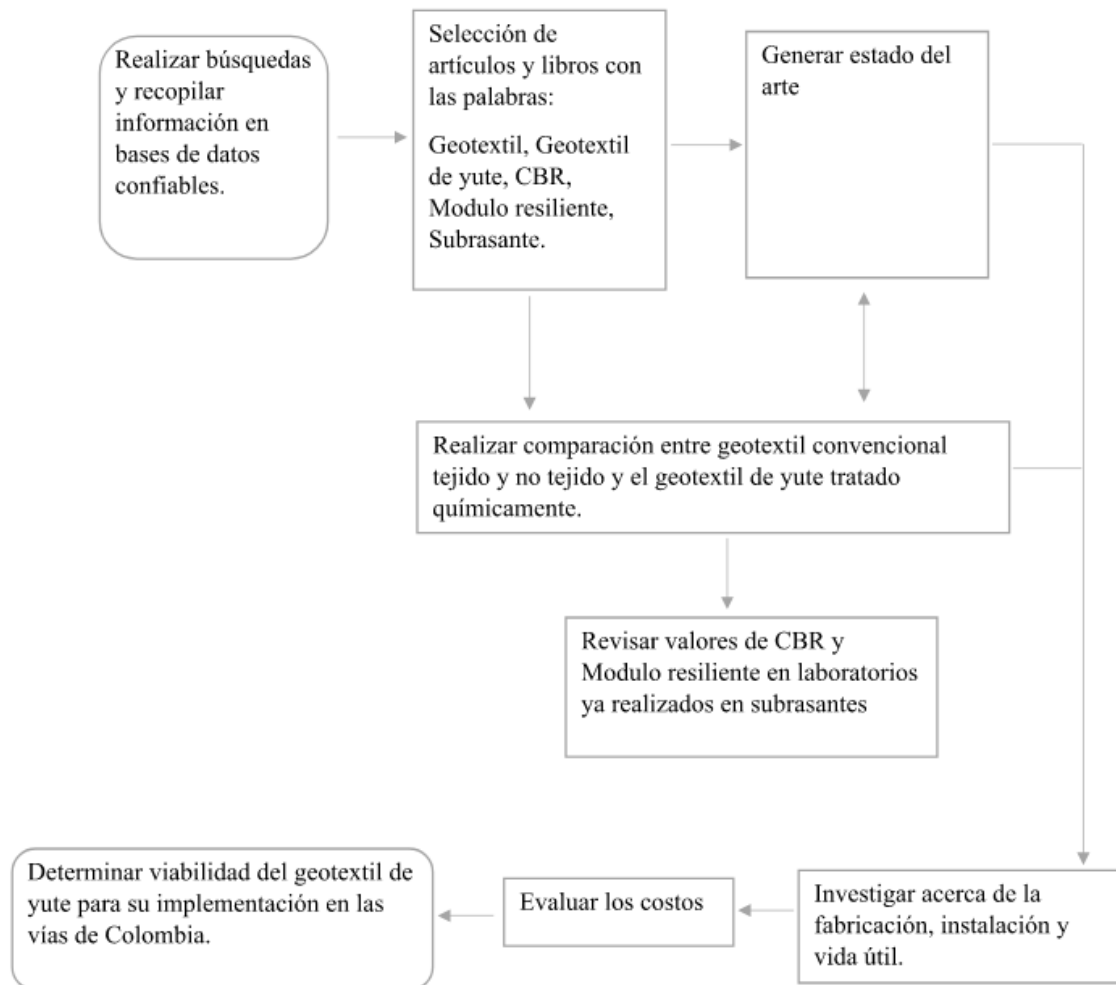
### **7.2 Objetivos específicos**

1. Generar un estado del arte, sobre investigaciones realizadas en la fabricación y uso de geotextiles convencionales tejidos y no tejidos, así como también de los fabricados con yute.
2. Comparar los resultados obtenidos en otras investigaciones, sobre el aporte que ofrecen los geotextiles (Convencional y de yute) a las subrasantes, en términos de módulos resilientes y CBR.
3. Realizar un análisis de costo de la instalación y la vida útil entre el geotextil convencional y el yute.

## 8 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología donde se muestra gráficamente el camino a tomar para llegar a la finalidad del trabajo de grado.

**Figura 1** Diagrama de flujo - Metodología



**Fuente:** Propia adaptada en Word

Para realizar el análisis comparativo entre el geotextil convencional y el geotextil de yute químicamente tratado se investigará y se recopiló información bibliográfica de bases de datos confiables, teniendo en cuenta palabras clave como: Geotextil, Geotextil de yute, CBR, Módulo resiliente, Subrasante.

Se revisarán laboratorios ya hechos para estas tecnologías centrándonos en los valores de CBR y Módulo resiliente, evaluando su uso y aporte en las subrasantes. Se realizará una evaluación de costos y se investigará acerca de su fabricación, instalación y vida útil y con base en esto generar un estado del arte. Por último, se determinará su viabilidad y posible implementación en las vías de Colombia.

## CAPITULO 1

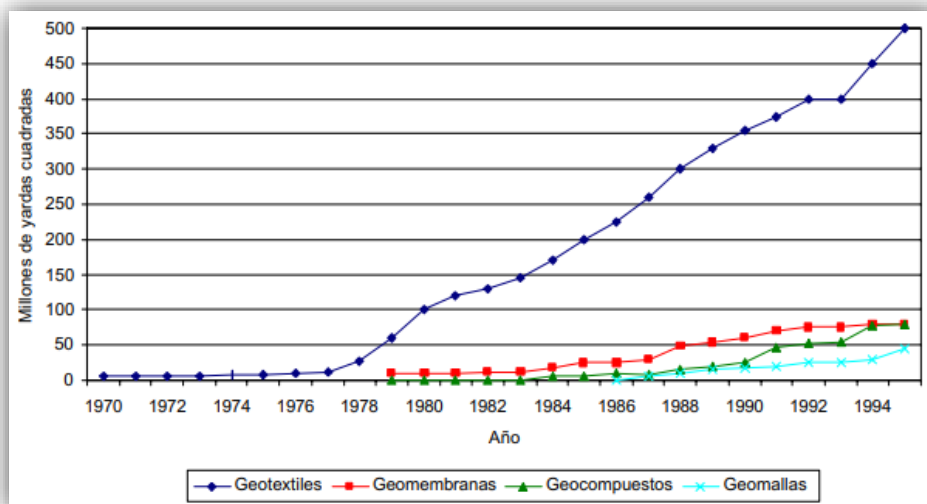
### 9 FABRICACIÓN Y USO DE GEOTEXTILES CONVENCIONALES Y DE YUTE TEJIDO Y NO TEJIDO

#### 9.1 Geotextil convencional

Los geotextiles junto con las geomembranas, son los materiales geosintéticos más utilizados a nivel mundial. Tiene una aplicación muy diversa dentro del campo de la ingeniería y por esta razón una alta participación en el mercado. Estos materiales cuentan con un crecimiento efectivo desde la década de los 70s, en países como Estados Unidos y Canadá. Este crecimiento se debe al desarrollo exponencial en cuanto a la infraestructura y proyectos que involucran estos materiales.

Un estudio realizado por la FAO (Food and Agriculture Association of United Nations) para las Naciones Unidas (2001) determinó que la distribución del mercado de los geotextiles a nivel mundial se da en partes iguales para Norteamérica y Europa.

**Gráfica 1** Crecimiento del geotextil en Estados Unidos y Canadá



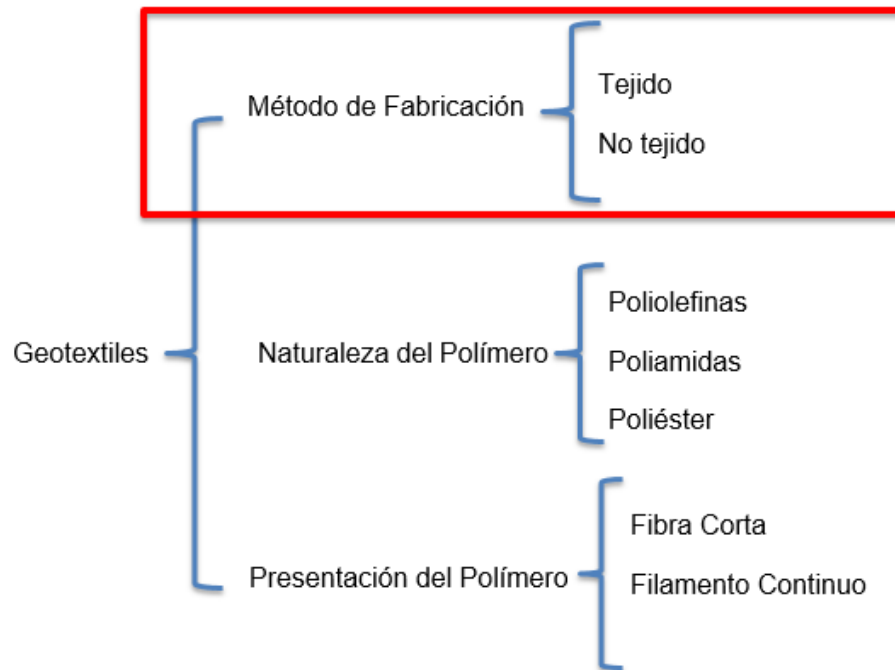
**Fuente:** FACTORES CONDICIONANTES DEL USO DE GEOSINTETICOS EN PAVIMENTACION EN COLOMBIA  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15370/u234280.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Los grandes beneficios de los geotextiles hacen que su campo de ejecución sea amplio y no solo dentro de los pavimentos, sino también en la implementación del mejoramiento de los suelos y sistemas de contención y drenajes (recubrimientos en estructuras hidráulicas y edificios, entre otras). Gracias a su función de separación

se evita la migración de materiales entre capas y esto da como consecuencia la distribución de los esfuerzos de una manera más eficiente y se proporciona una resistencia a la tensión prácticamente inexistente en los suelos granulares.

Se clasifican según:

**Tabla 2** Clasificación de geotextiles



**Fuente:** Propia adaptada en Word

### 9.1.1 Tejidos.

Sus principales cualidades se remiten en la resistencia a la tensión y favorable permeabilidad, se usan para cumplir funciones de separación y refuerzo, los que tiene alto módulo se utilizan en proyectos de alta exigencia de carga como aeropuertos y ferrovías, logrando que la resistencia de las materiales in situ aumenten.

### 9.1.2 No tejidos.

Estos geotextiles cuentan con una excelente permeabilidad y baja resistencia, por lo que su uso se limita al drenaje y filtración, sin embargo, hay veces que se les ven en estructuras de pavimentos realizando la función de separación de capas con diferentes propiedades.

De las principales causas de aplicación de los geotextiles se encuentra la separación. Esto se debe a la alta contaminación de los materiales en la base y subbase, como consecuencia reduciendo la resistencia de las mismas. Esto generalmente se da porque el material fino de la subbase se desplaza por causa de las cargas dinámicas, hacia el material de base contaminándolo y provocando que a su vez que el material penetre en la subbase causando pérdida en la resistencia de la misma, lo cual conlleva a la falla del pavimento.

Los geotextiles proporcionan una separación entre las capas logrando conservar el espesor o diseño de la estructura, lo cual es importante especialmente al construir sobre suelos de estabilidad baja. Anteriormente se utilizaba un recubrimiento de arena en la subrasante para luego colocar el material granular perteneciente a las capas de la estructura.

Otro aspecto importante dentro de las estructuras de pavimentos es el flujo de agua y está determinado por la permeabilidad de los materiales que la componen. Lo ideal es que el agua corra por un camino con una buena permeabilidad evitando que se presenten condiciones de permanencia de agua dentro de las capas y generando desplazamiento del material por el arrastre del agua, la primera condición es de las más importantes para evitar que se pierda esfuerzo efectivo y la reduciendo la capacidad portante y la segunda me puede provocar bombeo por el efecto dinámico de las cargas. Los geotextiles mejoran estas condiciones.

**Tabla 3** Propiedad hidráulica

<b>Situación</b>	<b>Función</b>	<b>Tipo</b>
Contaminación de materiales de base.	Impedir el paso de los finos entre las capas de la estructura.	Tejido No tejido
Flujo de agua con finos dentro de la estructura.	Impedir la contaminación entre las capas por efecto del arrastre del agua.	No tejido
Poca permeabilidad por el incremento de material granulometría baja.	Permitir la utilización de materiales de gradación gruesa gracias al efecto de soporte creada entre capas por la separación.	Tejido No tejido

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

Otro de los beneficios considerables de los geotextiles es el refuerzo que le brinda a la estructura. Su crecimiento potencial se dio después de los años 70s, esto por causa del aporte de resistencia que le dio especialmente a los pavimentos sin capa de rodadura. Para este tipo de estructura la utilización de los geotextiles tiene un costo - beneficio ante la escasez de agregados. Se estudió el costo de los geotextiles, ya que perdería sentido la utilización de estos en caso que resultara más costosos que el uso del material granular, por esta razón al momento del diseño se le delega al ingeniero como criterio de elección entre el uso del material granular como material no renovable y el material sintético como solución ambiental, entre otras.

La mala calidad de la subrasante y los materiales granulares para la conformación de la estructura multicapa, conlleva a diseños de capas mayores y económicamente desfavorables y grandes movimientos de tierra con excavaciones y rellenos igualmente costosos. Gracias a que los geotextiles tienen un comportamiento positivo ante los esfuerzos de tensión, estos mejoran el terreno natural cumpliendo las funciones que este no puede soportar. El geotextil más utilizado para esta función es el tejido pues su alta resistencia a poca formación y la habilidad en la distribución de cargas hacen muy eficiente la estructura, lo que resulta una disminución en el espesor de las capas. Estudios realizados han demostrado que el espesor de la capa puede reducir entre un 30 y 50% dependiendo del geotextil utilizado para la estabilización.

En el caso de que la demanda de cargas sea alta como en los aeropuertos y ferrovías se utilizan los geotextiles tejidos con un módulo alto, los cuales presentan un comportamiento más eficiente a los esfuerzos, mejorando las condiciones de la cimentación y reduciendo el espesor de las capas.

En cuanto a los no tejidos se utilizan para estabilización y refuerzo de los terraplenes, esto se logra mejorando las propiedades de la estructura por medio de la separación y drenaje. Los no tejidos actúan como una barrera entre los suelos subyacentes y el balastro entre otros, esto proporciona una forma costo - efectiva de controlar la pérdida y mezcla del material dando como resultado la prolongación de la vida útil de la estructura y conservando la geometría de esta.

La utilización de geotextiles como reforzamiento en muros de contención y terraplenes representa un ahorro de casi la mitad de los costos que si se hicieran solo en concreto reforzado lo que demuestra la importancia y el uso que tiene dentro de este campo.

**Tabla 4** Propiedad de refuerzo

<b>Situación</b>	<b>Función</b>	<b>Geotextil</b>
Subrasante y materiales en capas de baja calidad.	Resistir los esfuerzos de la tensión del material disminuyendo los espesores de diseño y volúmenes de movimientos de tierra.	Tejidos No tejidos
Gran demanda de trabajo ante cargas dinámicas muy altas.	Por medio de un geotextil tejido de alto módulo, brindar la resistencia necesaria a la tensión mejorando la capacidad de soporte y fatiga.	Tejido
Terraplenes con material de baja calidad.	Refuerzo del suelo logrando menores pendientes y más estabilidad.	Tejido No tejido

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

La rehabilitación de los pavimentos también es tema de los geotextiles, por lo general se acostumbra a sellar las grietas con emulsiones o concreto asfáltico para luego poder fundir la nueva capa asfáltica. Pero el problema de este método es que se forman grietas por reflexión provenientes de la estructura vieja por lo que continúa siendo sometida a cargas que terminan en el paso de los esfuerzos a la nueva estructura. Con el uso del geotextil se dispone una capa del sintético entre la capa de rodadura antigua con las fisuras selladas y la nueva capa de concreto asfáltico, lo cual gracias a su resistencia a la tensión previene que la falla no afecte el funcionamiento de la nueva estructura. Aunque estudios realizados arrojaron que este método solo funciona en lugares de clima caliente y templado en los que los cambios de temperatura y humedad contribuyen de una manera menos importante en el movimiento de la capa.

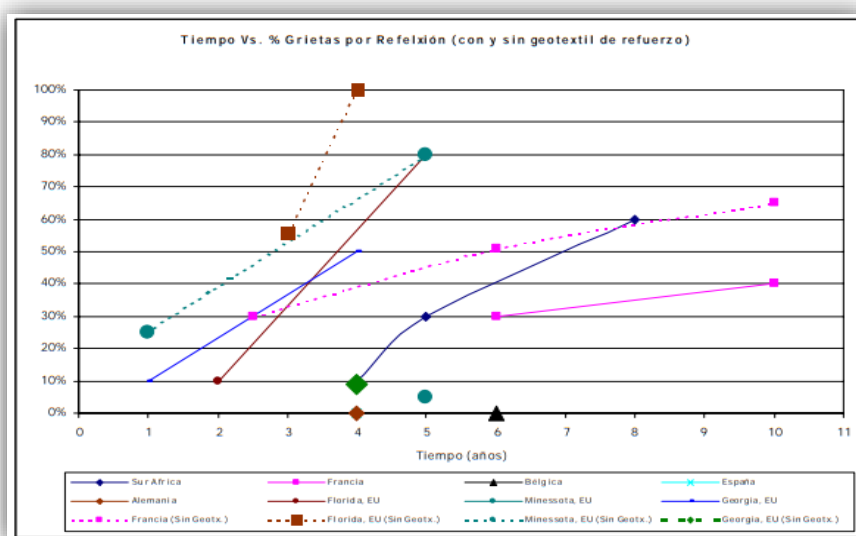


**Tabla 5** Propiedad de rehabilitación

Situación	Función	Geotextil
Capa de rodadura asfáltica fisurada por el efecto de las cargas y cambio de temperatura.	Por medio de una capa de separación entre la capa de rodadura antigua con las fisuras selladas y la capa nueva evitando la aparición de grietas por reflexión en la rodadura de servicio.	Tejido No tejido

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Gráfica 2** Porcentaje de grietas por flexión



Fuente: FACTORES CONDICIONANTES DEL USO DE GEOSINTETICOS EN PAVIMENTACION EN COLOMBIA

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15370/u234280.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

El gráfico muestra la influencia del agrietamiento en el pavimento con y sin reforzamiento del geotextil, las líneas punteadas representan el agrietamiento en pavimentos sin el reforzamiento y su porcentaje es más elevado en comparación con las líneas continuas.

## 9.2 Geotextil de yute

Conocido como la 'fibra dorada', el yute es una de las fibras naturales más largas y más usadas para diversas aplicaciones textiles. El yute es un producto de Asia

meridional, concretamente de la India y Bangladesh. Su producción es diversa, influenciada por las condiciones atmosféricas y los precios.

En el último decenio, la producción anual oscila entre 2,5 y 3,2 millones de toneladas, a la par de la lana. La India y Bangladesh representan, respectivamente, cerca del 60% y el 30% de la producción mundial. Bangladesh exporta cerca del 40% como fibra bruta y alrededor del 50% como productos manufacturados. La India exporta cerca de 200.000 toneladas de productos de yute, y el resto se consume internamente.<sup>12</sup>

El yute es extraído de la corteza de la planta del yute blanco y, en menor cantidad, del yute tossa. Es una fibra natural con un brillo sedoso dorado, llamada por eso mismo fibra dorada. Su cultivo anual se desarrolla en cerca de 120 días entre abril/mayo y julio/agosto. Florece en zonas de tierras bajas tropicales con una humedad del 60% al 90%. El yute es un cultivo de secano que necesita pocos fertilizantes y plaguicidas. Los rendimientos son de cerca de 2 toneladas de yute seco por hectárea. En términos de producción y variedad de usos, el yute es una de las fibras naturales más asequibles, considerada la segunda de las fibras vegetales después del algodón.

La fibra de yute es larga, blanda y brillante, con una longitud de 1 a 4 metros, su maduración tarda de 4 a 6 meses y tiene un diámetro de entre 17 a 20 micras.

**Ilustración 9** Planta de yute



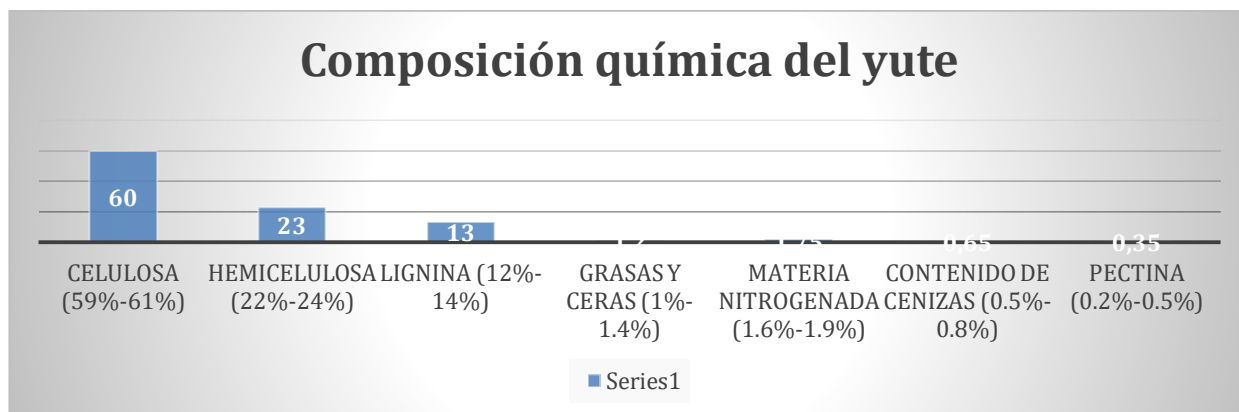
**Fuente:** Dreamstime <https://es.dreamstime.com/planta-del-yute-en-el-campo-cultivo-assam-la-india-plantas-verdes-y-altas-hojas-de-cosechas-agr%C3%ADcolas-agricultura-asia-asi%C3%A1tico-image154951730>

---

<sup>12</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Fibras del Futuro. {en línea} {19 octubre de 2020} disponible en <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>

Están compuestas primordialmente de celulosa (principal componente de las fibras vegetales) y lignina (componentes principales de las fibras leñosas), además de grasas y ceras, materia nitrogenada, ceniza y pectina, pero en menor cantidad.

**Gráfica 3** Composición química del yute



**Fuente:** Propia

Las fibras pueden extraerse mediante procesos de enriado tanto biológico como químico. Dados los gastos que representa el uso de productos químicos para extraer la fibra del tallo, los procesos biológicos son los que más se practican. La fibra de yute que se encuentra en la capa periférica de su tallo, se extrae de la corteza fina y del núcleo leñoso de la planta mediante un proceso manual especial, empapando los tallos de yute en agua durante unas 2-3 semanas.

**Ilustración 10** Inmersión de plantas de yute para enjuagar



**Fuente:** iStock by Getty Images <https://www.istockphoto.com/es/foto/granjero-de-procesamiento-de-fibra-de-yute-en-la-india-de-bengala-del-oeste-gm1098140056-294915599>

La inmersión de los tallos de yute en agua facilita la extracción de la fibra del tallo de yute ya que ablanda y disuelve las sustancias aglutinantes, especialmente la pectina. La extracción se realiza manualmente, seguida de lavado y secado, para que la fibra sea adecuada para uso comercial.

**Ilustración 11** Secado fibra de yute



**Fuente:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura  
<http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>

La Oficina de Normas de la India (BIS) recomienda la clasificación del yute en bruto en función de las características de la fibra. Las características son resistencia, ausencia de defectos, densidad aparente, color, finura y contenido de raíces. Hay subcaracterísticas de estas características. En base a estas características, se han concebido ocho (8) grados de tossa y yute blanco, marcados como TD1, TD2 para yute tossa y W1, W2 para yute blanco en esa secuencia. La clasificación se realiza dando el peso debido a los atributos físicos de la fibra de yute. La tensión máxima se da sobre la resistencia de la fibra y el contenido de raíces en el momento de la evaluación de la clasificación. Para la fabricación de geotextiles de yute (JGT), la selección del grado apropiado de yute es fundamental para cumplir con los criterios especificados de resistencia y finura de la tela.

“Los textiles se fabrican a partir de hilos, que se transforman en formas de fibra, conservando las propiedades de la fibra en general en diferentes grados. La fibra de yute se convierte en hilos de yute que constituyen el ingrediente básico de cualquier tejido a base de yute, incluidos los geotextiles de yute. Una buena calidad de la fibra garantiza buenos hilos y, en consecuencia, buenos tejidos.

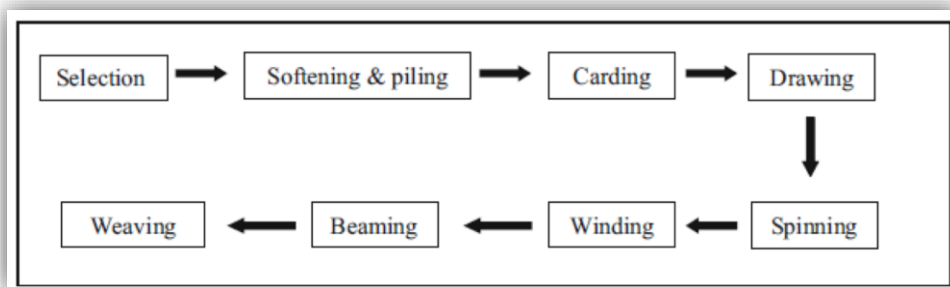
El hilo de yute (cualquier hilo) es un conjunto de fibras y/o filamentos, ya sea en forma retorcida o sin torcer, cuya longitud es mayor que su diámetro o ancho. Los hilos pueden hilarse a partir de fibras cortadas o pueden fabricarse directamente a

partir de filamentos continuos. Los hilados pueden estar hechos de más de un tipo de fibras. El sistema de hilado juega un papel importante en la determinación de la calidad del hilo. Estructuralmente, los hilos hechos de filamentos continuos son más simples. Existen otros tipos de hilos: hilos múltiples, hilos cableados, hilos de fantasía. La diferencia en el tipo de hilo se basa en el número de fibras/filamentos, características irregulares, diámetro, vellosidad, densidad de empaquetamiento y la cantidad de torsión ejercida en su fabricación.

Las operaciones básicas para la conversión de fibra de yute en hilados son: Abrir, limpiar y mezclar, formación de astillas (hebras continuas sueltas de fibras listas para estirar y torcer), adelgazamiento de astillas, paralelización de fibras y embalaje

A continuación, se muestra las etapas del proceso de fabricación de tejido de yute:

**Ilustración 12** Proceso de fabricación tejido de yute



**Fuente:** Jute, Jute Fiber, and Jute Yarn [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_2](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_2).

Las características esenciales del proceso de hilado son la elaboración y el bobinado. El estirado es el proceso para reducir el volumen y el peso de la cinta y paralelizar los componentes fibrosos de los hilos. El bobinado es la operación para transferir hilo de una forma de empaque a otra.

La selección implica seleccionar el grado correcto de fibra en términos de resistencia, finura y calidad. A veces se elige una combinación de fibras de dos o más grados teniendo en cuenta la especificación requerida del tejido en cuestión.

El ablandamiento de la fibra de yute debe realizarse inicialmente para limpiar y expulsar las impurezas extrañas y para desenredar las enredadas cañas del yute. Las cañas de yute se pasan a través de una serie de rodillos pesados con un tratamiento simultáneo de emulsión de aceite y agua. Las cañas de yute tratadas

se mantienen cubiertas durante unos 3 días. Esto ayuda a la fermentación bacteriana y permite la distribución de la emulsión en la masa de fibra. El proceso se conoce como pilotaje.

El cardado se realiza para el rajado longitudinal y la rotura lateral de las cañas de yute. Esto ayuda a desvincular los filamentos individuales y ayuda a producir astillas de densidad lineal uniforme. Esta es una operación de precisión. Después de apilar, las porciones duras de las cañas de yute se cortan para separarlas de las porciones blandas y flexibles. A continuación, las porciones blandas se introducen en la cartulina, llamada así porque rompe la estructura enmarañada del yute para producir filamentos individuales.

Los filamentos así producidos se hacen pasar a través de otra máquina de cardar llamada carda de acabado que hace posible la producción de filamentos finos. Para eliminar los restos de la irregularidad de la fibra, se recurre a un proceso llamado duplicación, este consiste en combinar una serie de astillas transversalmente para que el dibujo produzca una sola astilla como salida.

El proceso de trefilado hace que las astillas obtenidas después del cardado sean más delgadas, mejorando su paralelización y capacidad de hilado. Se hacen tres o cuatro marcos de dibujo y un par de rodillos. El bobinado es esencialmente la eliminación de las deficiencias en el hilado mecánico/electrónico.

Torsión en el lenguaje textil también significa el proceso para formar hilos con capas. Luego, las astillas de yute se hacen para cumplir con la densidad lineal deseada y se imparten torsiones para hacer el hilo especificado. Hay varios tipos de giro, como el giro de volantes (en el que el giro se realiza con la ayuda de una máquina conocida como volante), el giro de anillos (en el que el giro lo realiza un "viajero" que se mueve a lo largo de un anillo), el giro de envoltura (en cuyas fibras de yute paralelas están envueltas por un filamento sintético para inducir la cohesión entre las fibras) y el hilado por fricción (en el que las fibras se retuercen en capas para mejorar los contactos de fricción entre las fibras).

Para lograr las características deseadas del hilo, a veces se hace necesario mezclar fibra de yute con fibras de diferentes fuentes, naturales o artificiales. En tales mezclas se utilizan normalmente astillas de fibras cortadas. Las proporciones respectivas están predeterminadas y mezcladas en la etapa de dibujo.

Para garantizar la regularidad del hilo, se eliminan las fibras con una longitud inferior a 25 mm. El proceso mediante el cual se realiza la eliminación se llama peinado. Peinar también ayuda a hilar hilos finos. Los geotextiles tejidos de yute se fabrican

tejiendo los hilos preparados en telares motorizados especialmente hechos para garantizar el cumplimiento de las especificaciones”.<sup>13</sup>

Para la fabricación de telas no tejidas, este proceso incluye el tendido continuo de fibras en una cinta transportadora en movimiento unida mediante procesos mecánicos, recurriendo al punzonado con agujas o la unión química de fibras distribuidas al azar. Las fibras se distribuyen aleatoriamente en una tela no tejida. Es diferente al proceso de tejer.

Con el paso del tiempo ha demostrado su gran versatilidad con una gama de atributos físicos únicos que han abierto nuevas vías para la diversificación. Una característica fundamental es la posibilidad de ser usado separadamente o mezclado con una gama de otras fibras y materiales. El geotextil de yute (JGT) es uno de los productos de yute diversificados más importantes. Se puede aplicar en muchos campos como la ingeniería civil, el control de la erosión del suelo, la construcción de sub-bases de carreteras y ferrocarriles, pavimentos de carreteras, muros de contención, canales, presas y la protección de las riberas de los ríos. En muchos de estos usos se lo reemplaza con materiales sintéticos, pero cuando éstos son inadecuados se usa el yute por su carácter biodegradable ya que después de un tiempo se rompen sin que sea necesario quitarlos. Entre las ventajas del yute figuran sus propiedades aislantes y antiestáticas, así como su baja conductividad térmica y moderada retención de la humedad, tiene gran resistencia a la tensión, bajo coeficiente de extensibilidad, y garantiza que los tejidos sean más respirables.

Actualmente, se considera que la biodegradabilidad es una desventaja. Sin embargo, tiene una vida útil efectiva de dos ciclos estacionales que es suficiente para la consolidación natural del suelo al formar una capa consolidada conocida como "torta de filtración". Esto ha sido verificado mediante extensas pruebas de campo. La biodegradabilidad de JGT no es, por tanto, un factor desalentador, sino que se utiliza ampliamente en la construcción de carreteras.

---

<sup>13</sup> Sanyal T. Jute, Jute Fiber, and Jute Yarn. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 7-17. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_2](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_2).

El geotextil de yute se usa principalmente para:

**Tabla 6** Usos geotextil

Separación	Filtración	Drenaje	Refuerzo inicial
Esta función implica la segregación de dos capas adyacentes de materiales evitando la intrusión de una capa en otra capa que tiene materiales similares y/o diferentes, provocando una reducción en el espesor de diseño general como en el caso de los pavimentos y por lo tanto lo hace susceptible a fallas.	Esta tiene dos funciones contrastantes, la primera es retener el suelo y la segunda es facilitar el paso del agua de los poros para que penetre a través y a lo largo de la tela en la otra.	Es la dispersión lateral del agua de los poros a lo largo de un geotextil. Así mismo, al ser mayor la transmisividad de un geotextil, más eficiente será la función de drenaje. El geotextil de yute al ser un excelente receptor de agua, retiene el agua inicialmente y la libera gradualmente a lo largo de su plano, a diferencia de un geotextil artificial que no puede absorber agua.	Cuando los geotextiles se utilizan como refuerzo del suelo, su función principal es impartir resistencia a la tracción. El geotextil de yute puede resistir la tensión y restringir la deformación en las etapas iniciales antes de que comience su degradación y durante la optimización del proceso de consolidación del suelo. Además, absorbe parte de las tensiones y deformaciones de la instalación provocadas por la imposición de cargas extrañas. Por su alto coeficiente de rugosidad puede distribuir cargas sobre un área grande y la fricción entre el suelo y geotextil de yute asegura la distribución de la tensión en el suelo.

**Fuente:** Propia adaptada en Excel



## CAPITULO 2

### 10 ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación, se mostrarán 4 laboratorios obtenidos por medio de bases de datos para poder realizar la comparación de las características físico mecánicas (CBR y Módulos) entre el geotextil convencional tejido y no tejido y el geotextil de yute tejido y no tejido tratado químicamente con betún.

#### 10.1 Geotextil tejido convencional

Los geotextiles se han estudiado y utilizado alrededor de 40 años como refuerzo de las estructuras de pavimentos o caminos sin asfaltar, gran número de estudios de campo y laboratorios han demostrado que el refuerzo con geotextiles mejora el rendimiento de estas estructuras. Se utilizan ya sea para alargar la vida útil o simplemente para ahorrar en los costos de construcción ya que se reduce el espesor de las capas.

A los geotextiles tejidos se le han atribuido dos grandes características la primera es la restricción lateral y por lo tanto el aumento en la resistencia de carga y la segunda son las membranas tensadas.

Para este laboratorio se desea conocer el comportamiento de un suelo blando al ser reforzado por un geotextil tejido, y se miraran propiedades como las de CBR y su Modulo Resiliente (Mr).

**Tabla 7** Propiedades del material de la subrasante

Sr. no.	Property (unit)	Value	Reference
1	Specific gravity	2.65	IS 2720 Part-VII-1973
2	Liquid limit (%)	35	IS 2720 Part-V-1985
3	Plastic limit (%)	24	
4	IS heavy compaction test;		
	(a) Maximum dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	18.34	IS 2720 Part-VII-1973
	(b) Optimum moisture content (%)	11.2	
5	Soaked California bearing ratio (%)	8.9	IS 2720 Part XVI-1979
6	Unified soil classification system	MI	IS 2720 Part IV-1965

**Fuente:** Full-Scale Laboratory Accelerated Test on Geotextile Reinforced Unpaved Road.  
<https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/article/10.1007/s40891-017-0110-x>

En la Tabla 8 se visualizan las propiedades del suelo a estudiar como sus límites y su clasificación, para este tipo de suelo se seleccionó un geotextil tejido y se definen los parámetros bajo los cuales va a trabajar

**Tabla 8** Propiedades del geotextil tejido (TFI 5200)

Sr. no.	Property	Unit	TFI5200	Test method
1	Composition	–	Polypropylene woven geo-textile	–
2	Tensile strength at 2% elongation (MD) (CD)	kN/m	7 7	IS13162 (Part 5)/EN ISO 10319
3	Tensile strength at 5% elongation (MD) (CD)	kN/m	16 16	
4	Max. tensile strength (MD) (CD)	kN/m	28 28	
5	Static puncture resistance CBR	N	4500	IS13162 (Part 4)/EN ISO 12236

**Fuente:** Full-Scale Laboratory Accelerated Test on Geotextile Reinforced Unpaved Road.  
<https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/article/10.1007/s40891-017-0110-x>

Las propiedades de las capas de la estructura se reflejarán a continuación en la tabla 9.

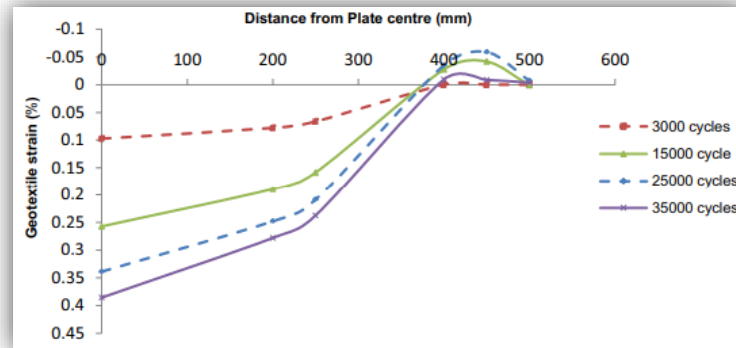
**Tabla 9** Propiedades de las capas

Parameter	Layer	Bulk unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Water content (%)	Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Laboratory heavy compaction test result		Compaction achieved (%)	Remark
					Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Water content (%)		
Unit weight and moisture content	Bottom layer (175 mm)	19.77	10.20	17.95	18.34	11.2	97.8	Within the prescribed limit as per IRC-SP-20 [20]
		19.65	10.10	17.85			97.3	
		19.74	10.60	17.85			97.3	
	Middle layer (175 mm)	19.66	10.76	17.75			96.8	
		19.92	10.99	17.95			97.8	
	Top layer (150 mm)	19.65	10.06	17.85			97.3	
		19.83	10.45	17.95			97.8	
		19.66	10.15	17.85			97.3	
Field CBR	Subgrade surface	8.6%						Lab. CBR 8.9%

**Fuente:** Full-Scale Laboratory Accelerated Test on Geotextile Reinforced Unpaved Road.  
<https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/article/10.1007/s40891-017-0110-x>

Una vez realizada la instalación del geotextil de la estructura se analizó la deformabilidad de esta estructura con y sin refuerzo y esto fue lo que se obtuvo.

**Gráfica 4** Deformación de los geotextiles por acción de los ciclos



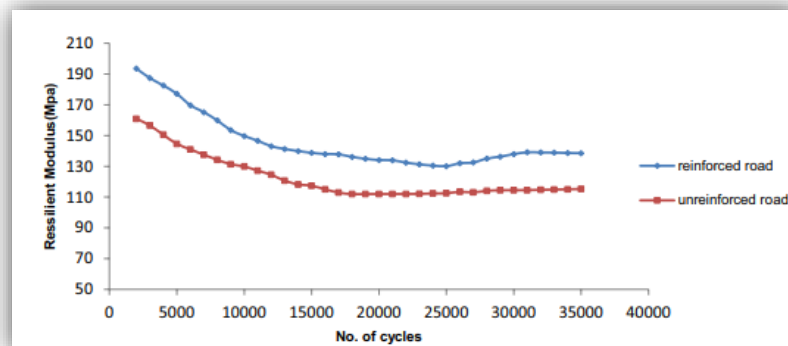
**Fuente:** Full-Scale Laboratory Accelerated Test on Geotextile Reinforced Unpaved Road.  
<https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/article/10.1007/s40891-017-0110-x>

Por medio de las láminas galgas extensométricas se puede analizar la deformación del geotextil bajo las condiciones de los cíclicas, la gráfica 4 muestra la variación de la distancia del geotextil a lo largo del eje de carga, con este modo se logró obtener la máxima deformación y en que numero de ciclos se presentó.

El Módulo resiliente ( $M_r$ ) se calculó a 50 mm del borde de la placa de carga para los diferentes tipos de ciclos. Para poder obtener este valor se tiene en cuenta el CBR de las subrasantes y la penetración que sufrió, el análisis se realiza los dos casos, reforzado y sin refuerzo del geotextil. La ecuación de  $M_r$  está definida como:

$$M_r = 17.6 * (CBR)^{0.64} \quad (\text{Ecuación 1})$$

**Gráfica 5** Módulo resiliente



**Fuente:** Full-Scale Laboratory Accelerated Test on Geotextile Reinforced Unpaved Road.  
<https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/article/10.1007/s40891-017-0110-x>

El laboratorio como finalidad última tiene realizar la comparación de los valores con propuestas anteriores y analizando si cumplen o no con las establecidas, realizando una fuerte citación de varios autores y en especial mirando el valor del CBR y el Mr.

### **Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil tejido convencional**

Se puede analizar que en la tabla 7 se realiza la comparación del CBR obtenido en campo el cual es de 8,6% y el estudio en el laboratorio dio como resultado 8,9% lo que concluye que está bajo el margen de error y que los datos obtenidos son confiables.

En la gráfica 4 se visualiza que el valor de la deformación máxima por tracción es de 1,16 aproximadamente lo que representa una deformación casi nula, después de esto se ve que la restricción lateral es el principal mecanismo de refuerzo lo que provoca una mejoría en el rendimiento del pavimento reforzado, esto se presenta después de los 27.000 ciclos.

Y por último la gráfica 5 muestra la variación del módulo resiliente con la carretera con y sin refuerzo Vs el número de ciclos de carga. Como resultado da que el Mr aumenta en un 17% de forma continua en comparación con la carretera no reforzada, pero en ambos casos se ve un efecto descendente a medida que aumenta en los ciclos de carga. El Mr para el pavimento reforzado esta de 142,74 MPa, utilizando la ecuación del Mr se logra obtener el valor de CBR: 27,7%

### **10.2 Geotextil de yute tejido tratado con betún**

Diseñar y construir un pavimento flexible sobre un suelo de subrasante suave es un reto para los ingenieros debido a sus características expansivas ya que se debe lograr un nivel de resistencia óptimo al estar bajo cargas por eje de vehículos en movimiento. Para mejorar la resistencia del suelo de la subrasante, esta última se puede reforzar con fibra de yute modificada, siendo una técnica prometedora y viable, además de que mantiene intacta su biodegradabilidad durante el período de diseño. Este estudio propone una técnica novedosa para el refuerzo de suelos arcillosos y limosos de subrasante con geotextil de yute modificado con betún (BJGT) en pavimentos flexibles para alargar la vida de geotextil de yute por su biodegradabilidad y ataque microbiano, evaluando su influencia en las características de resistencia, como el valor de la relación de carga de California (CBR) y el módulo resiliente (Mr) de suelos arcillosos y limosos de la subrasante original.

Para el estudio se seleccionaron dos suelos, tipo arcilla y limo a lo largo del tramo de bajo volumen propuesto en este estudio para realizar investigaciones de laboratorio. Los tipos de suelo seleccionados arcilla y limo con compresibilidad intermedia se designaron como grupos CI y MI según el sistema de clasificación de suelos de la India.

Para determinar el índice y propiedades volumétricas de cada tipo de suelo, las pruebas dieron como resultado (según las especificaciones estándar IS 2720):

**Tabla 10** Propiedades del suelo de la subrasante principal

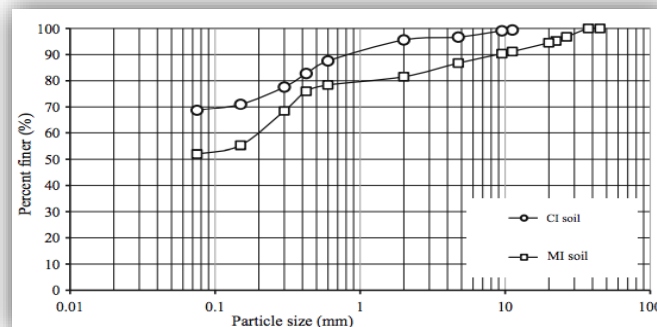
Sl. no.	Property	Number of samples	Test results	
			CI	MI
1	Sieve analysis	33 (11 <sup>a</sup> )		
	Gravel (%)		3.30	13.24
	Sand (%)		28.00	34.82
	Silt + clay (%)		68.70	51.94
2	Liquid limit, $w_L$ (%)	33 (11 <sup>a</sup> )	43	32
3	Plastic limit, $w_p$ (%)	33 (11 <sup>a</sup> )	16	24
4	Plasticity index, $I_p$ (%)	33 (11 <sup>a</sup> )	27	8
6	Free swell index (%)	33 (11 <sup>a</sup> )	45	20
7	Degree of expansion	33 (11 <sup>a</sup> )	Low	Low
8	Maximum dry density ( $kN/m^3$ )	33 (11 <sup>a</sup> )	17.93	18.42
9	Optimum moisture content (%)	33 (11 <sup>a</sup> )	16.00	8.00

<sup>a</sup>Number of test locations

**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

A continuación, se muestra la distribución del tamaño de grano de las curvas obtenidas para cada tipo de suelo seleccionado:

**Gráfica 6** Distribución del tamaño de partículas del suelo



**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

Para el geotextil de yute modificado con betún, se utilizó betún de grado de viscosidad (VG-10), que en este estudio tiene como fin recubrir el geotextil de yute natural (NJGT) para protegerlo del ataque microbiano y la degradación, para así aumentar la vida útil y la resistencia de la fibra de yute.

Las propiedades del betún utilizado en este estudio son:

**Tabla 11** Propiedades físicas del betún

Grade of bitumen	Softening point (°C)	Flash point (°C)	Viscosity at 60 °C	Ductility at 25 °C, cm	Specific gravity @ 27/27 °C
80/100	45	285	3.5	180	1.1

**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

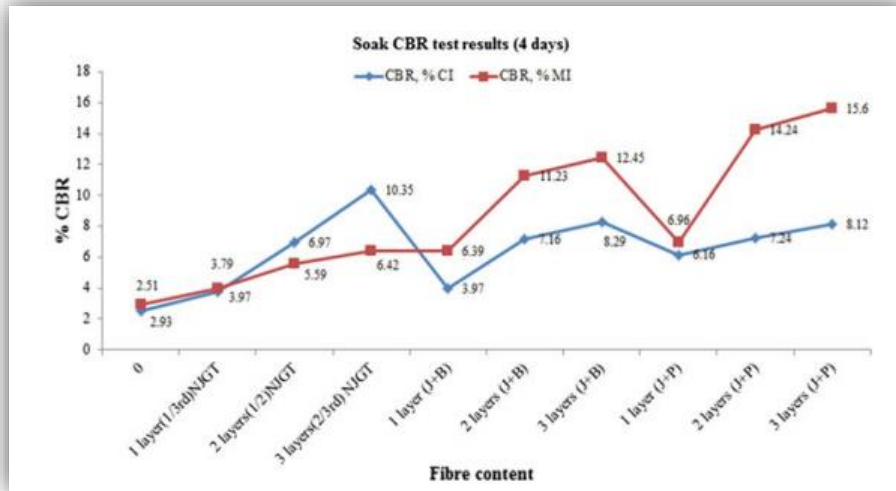
El betún se rocía sobre una hoja NJGT a una temperatura de 160 ° C. Este se usa como una capa de refuerzo para la subrasante principal con el fin de aumentar las características de resistencia, como las propiedades de tracción, fuerza de ruptura y resistencia a la perforación.

Para el desarrollo del programa experimental de laboratorio, se tomaron 33 muestras preparadas que se recolectaron de 11 ubicaciones diferentes, con esto se determinarán las características de resistencia del suelo (en la subrasante principal y reforzada) como lo son el valor de CBR y Mr. Se intentaron varias muestras de suelo reforzado y preparado colocando el geotextil modificado a varias alturas y simultáneamente aumentando el contenido de fibra en términos de algunas capas. Los protocolos de prueba se adoptaron según las normas IS (normas indias), ASTM y AASHTO.

La prueba convencional de resistencia de la subrasante CBR, se realizó según la especificación IS 2720 para las muestras de suelo CI, MI y suelo reforzado seleccionadas. Los módulos resilientes de subrasante estimados en laboratorio (Mr) se determinaron experimentalmente aplicando cargas axiales repetidas en muestras de suelo reforzado en una celda triaxial. La prueba de módulo resiliente en este estudio se realizó según el procedimiento de prueba sugerido por la norma AASHTO (AASHTO T 307-99 2003).

Los resultados obtenidos para CBR fueron:

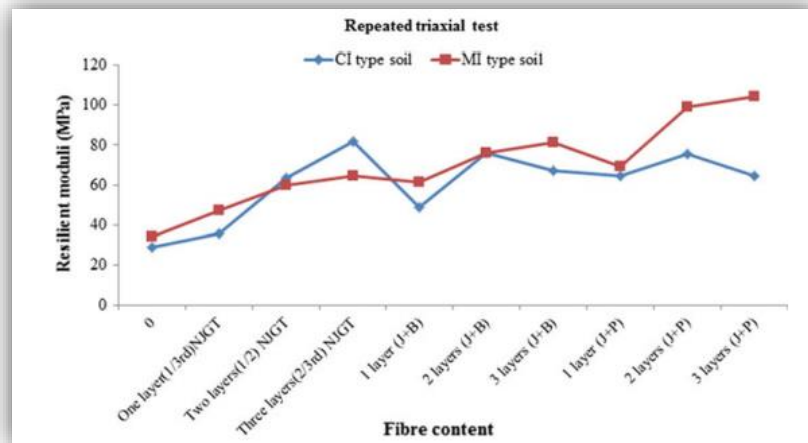
**Gráfica 7** CBR % J+B = Geotextil de yute natural + betún



**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

Los resultados para Mr fueron:

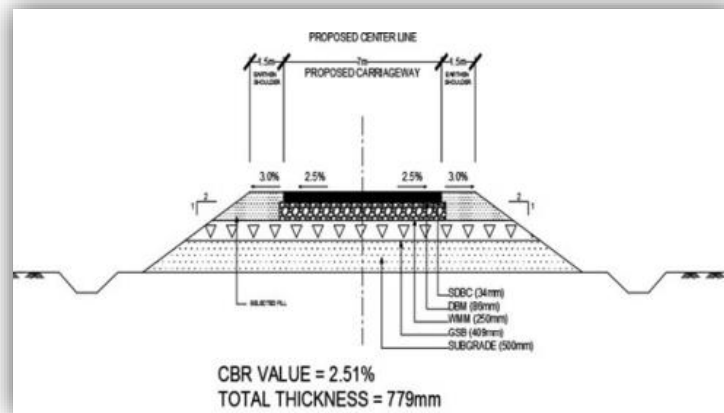
**Gráfica 8** Mr (MPa) J+B = Geotextil de yute natural + betún



**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

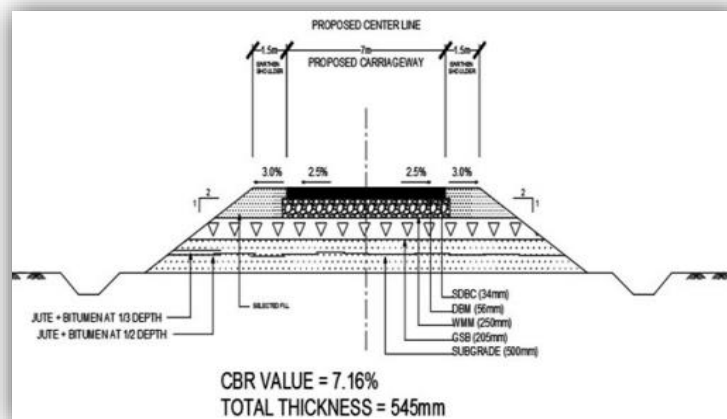
Para evaluar el rendimiento del suelo base y reforzado se desarrollaron modelos de pavimento bajo cargas vehiculares dinámicas. El espesor de la corteza del pavimento se estimó según las pautas sugeridas por el congreso de carreteras de la India IRC 37 (2012) para una sección de carretera típica. Los espesores de la corteza se adoptaron para el suelo base y reforzado con base en el CBR calculado y las cargas de tráfico estimadas como se muestra a continuación:

**Ilustración 13** Diseño de pavimentos flexibles para suelo CI sin refuerzo



**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

**Ilustración 14** Diseño de pavimentos flexibles para suelo CI reforzados con yute + betón



**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)



El análisis de rendimiento se llevó a cabo utilizando el programa KENLAYER, arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 12** Análisis de rendimiento usando el programa KENLAYER

Case	Tangential strain	Vertical compression strain
A	5.91E-04	2.40E -04
B	4.85E-04	3.81E-04
D	4.85E-04	3.81E-04
E	5.69E-04	3.28E- 04
F	5.00E-04	3.64E-04
G	3.91E-04	3.53E-04

**Fuente:** Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95771-5_14)

Los modelos propuestos de refuerzo del suelo se simularon mediante el diseño de la composición de la corteza para la carga vehicular de 1 a 7 millones de repeticiones de carga por eje estándar. Los resultados muestran que el rendimiento de los modelos de pavimento reforzado mejoró con respecto a las repeticiones de surcos en comparación con los modelos originales.

### **Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil de yute tejido tratado con betún**

Se puede observar en la gráfica 8 que el valor de CBR tanto para suelo tipo arcilloso y tipo limo es mayor con el geotextil yute modificado con revestimiento bituminoso de tres capas, dando valores de 12% y 18% respectivamente. Siendo así, para una y dos capas el valor de CBR es aceptable para poder ser utilizado como refuerzo en la subrasante. De la misma manera, se observa en la gráfica 8 que la capa de yute modificado con betún muestra que el valor promedio para dos capas es de 75 MPa para un suelo tipo arcilloso y tipo limo y que este valor aumenta cuando se usan 3 capas.

### 10.3 Geotextil no tejido convencional

Dentro de la utilidad de los geotextiles no tejidos se puede resaltar en reforzamientos de carreteras, ferrocarriles, obras hidráulicas, taludes, túneles entre otros. Pero que tan efectivo es la utilización de este material alternativo, pues en el siguiente laboratorio vamos a demostrar los resultados obtenidos por una estructura con y otra sin refuerzo.

Los suelos a estudiar son arcillosos y realizaron pruebas para determinar los límites de Atterberg, el contenido de humedad, la gravedad específica, la prueba de compactación y la prueba California (CBR).

Las dos muestras son catalogadas como A-7-6 y A-7-5 según las (AASHTO) y se consideran subrasantes pobres

**Ilustración 15** Geotextil no tejido

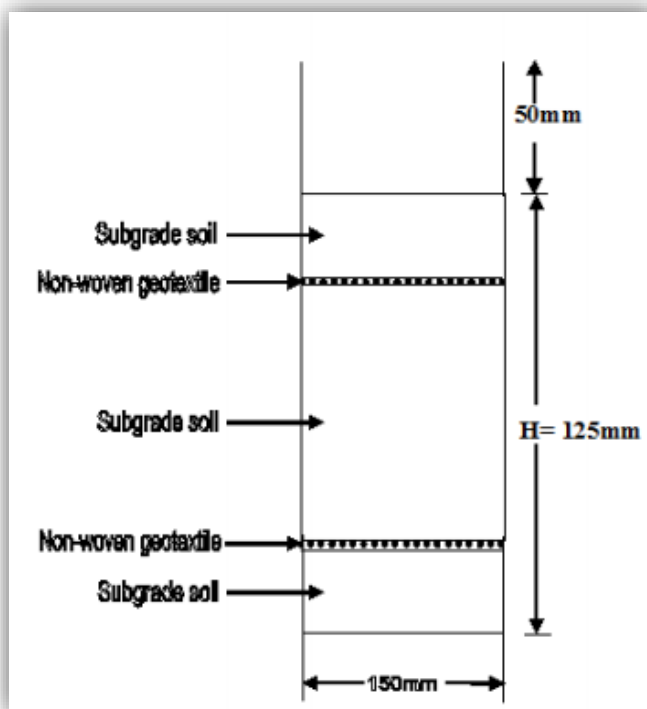


**Fuente:** Soil Subgrade Stabilization Using Non-woven Polypropylene Geotextile.  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6\\_39](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6_39)

Se llevaron a cabo pruebas convencionales para evaluar la idoneidad del suelo para fines de ingeniería.

Se siguieron los procedimientos de laboratorio y, posteriormente, se llevaron a cabo varios de los análisis geotécnicos requeridos. Las pruebas de compactación se realizaron utilizando un molde de metal rígido con un diámetro interno de 150 mm y altura de 175 mm, las muestras de suelo se compactaron en tres capas con cada capa compactada con 25 golpes de un martillo de 2,5 kg que cae desde una altura de 310 mm.

**Ilustración 16** Medidas de las capas



**Fuente:** Soil Subgrade Stabilization Using Non-woven Polypropylene Geotextile.  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6\\_39](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6_39)

El ensayo de CBR se realizó a  $H/4$ .

Las propiedades del geotextil se ven en la siguiente tabla.

**Tabla 13** Propiedades del geotextil no tejido

Particulars	Non-woven geotextile
Mass per unit area ( $\text{g/m}^2$ )	203
Grab Tensile strength (N)	710
Puncture Resistance (N)	1820

**Fuente:** Soil Subgrade Stabilization Using Non-woven Polypropylene Geotextile.  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6\\_39](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6_39)

Los resultados obtenidos en la tabla 12 dan como resultado los siguientes valores de CBR.

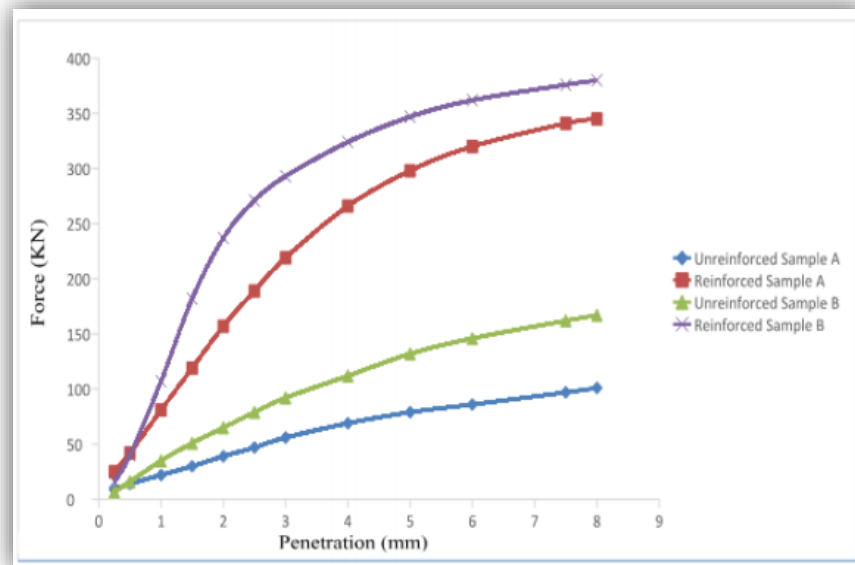
**Tabla 14** Valores del ensayo CBR

Soil samples	Without non-woven geotextile		CBR value (%)	With non-woven geotextile		CBR value (%)
	2.5mm	5.0mm		2.5mm	5.0mm	
Sample A	3.6	4.0	4.0	14.3	14.9	15.0
Sample B	6.0	6.6	7.0	20.5	17.4	21.0

**Fuente:** Soil Subgrade Stabilization Using Non-woven Polypropylene Geotextile.  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6\\_39](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6_39)

Y su grafica a continuación.

**Gráfica 9** Valores de CBR



**Fuente:** Soil Subgrade Stabilization Using Non-woven Polypropylene Geotextile.  
[https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6\\_39](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6_39)

### Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil no tejido convencional

Se puede observar que el suelo tuvo un aumento considerable después de la aplicación del geotextil no tejido, estos valores aumentan independientemente de la profundidad a la que se mida, el valor mínimo del 10% de CBR que revela que las muestras de suelo A y B cuando se refuerzan con geotextil no tejido.

#### 10.4 Geotextil de yute no tejido tratado con betún

El geotextil de yute sobresale ante el geotextil sintético convencional debido a su biodegradabilidad siendo compatible con el medio ambiente, pero por su escasa resistencia microbiana (pudrición) y su biodegradación más rápida, particularmente en condiciones de suelo húmedo, se debe mejorar su resistencia y esperanza de vida manteniendo intacta su biodegradabilidad durante su período de ejecución. En este estudio se busca mejorar y prolongar la durabilidad del geotextil no tejido a base de fibra de yute en el ámbito de la ingeniería civil. Para esto se debe aplicar algún tratamiento resistente a la putrefacción, que entre los diversos agentes resistentes a este se encuentra el uso de betún junto con una receta química adecuada, siendo uno de los más rentables y tecnológicamente viables. Las pruebas requeridas se llevaron a cabo en el laboratorio para evaluar los parámetros de propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las muestras producidas de acuerdo con las normas BIS vigentes pertinentes (IS: 1623-1960).

El estudio inició con la preparación de telas no tejidas perforadas con aguja de yute gris de diferentes densidades de área (expresadas en gsm). Para facilitar el proceso de optimización las muestras de tela no tejida de yute producidas se clasificaron en tres categorías de rangos: gsm bajo pertenecientes a 200-400 gsm, gsm medio pertenecientes a 500 –700 gsm mientras que los de gsm alto pertenecen al rango de 800–1,000 gsm respectivamente.

A continuación, se muestran la composición del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de área:

**Tabla 15** Composición del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de área de 200 a 400 g/m<sup>2</sup>

Sl. No.	Batch composition	In percentage (%)
1.	TD <sub>5</sub> long jute reed without root	70
2.	TD <sub>5</sub> root cutting from long jute	20
3.	Root cutting of long jute from Bangladesh	10

**Fuente:** Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needlepunched Geotextiles Through Bitumen Treatment. <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>

**Tabla 16** Composicion del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de area de 500 a 700 g/m2

Sl. No.	Batch composition	In percentage (%)
1.	TD <sub>5</sub> long jute reed without root	50
2.	TD <sub>5</sub> root cutting from long jute	20
3.	Jute- caddies and jute mill line waste	30

**Fuente:** Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needlepunched Geotextiles Through Bitumen Treatment. <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>

**Tabla 17** Composición del lote de telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute dentro del rango de densidad de área de 800 a 1000 g/m2

Sl. No.	Batch composition	In percentage (%)
1.	TD <sub>7</sub> long jute reed without root	20
2.	Assorted root cutting from long jute	50
3.	Jute- caddies and jute mill line waste	30

**Fuente:** Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needlepunched Geotextiles Through Bitumen Treatment. <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>

Para las pruebas de parámetros de propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las muestras de tela no tejida perforada con aguja de yute se acondicionaron en una atmósfera estándar a  $65 \pm 2\%$  de humedad relativa y  $27 \pm 2$  °C de temperatura. Además, las probetas se dejaron en esa atmósfera durante 24 h exponiendo todas sus partes. Para la preparación de muestras se tomó un trozo suficientemente largo de tela no tejida perforada con aguja de yute gris de la muestra de tela bajo prueba. La pieza de tela seleccionada se cortó en dos piezas de longitudes desiguales y la más pequeña se identificó como muestra de prueba. Se tomaron seis muestras de esa muestra de prueba.

Para la optimización de los parámetros de proceso y producto de las muestras de tela no tejida de yute producidas seguido de su selección para procesos posteriores, se aplicó un diseño experimental estadístico, basado en el método de Box y Hunter. El diseño se planificó con 3 variables en 3 niveles de diseño factorial completo rotativos, lo que llevó a la preparación de un total de 27 muestras de cada categoría

(gsm bajo, gsm medio y gsm alto) de muestras de telas no tejidas de yute, produciendo en total 81 muestras de las tres categorías. El tipo de aguja, el diseño del tablero de agujas, la densidad del tablero de agujas, la velocidad de entrada de la banda y la velocidad de entrega del telar de agujas se mantuvieron constantes durante toda la serie de preparación de muestras de tela.

Los valores de todos los parámetros de propiedades dimensionales y geotécnicas obtenidos para todas las muestras mediante la variación de los parámetros del proceso se compararon mediante el método de clasificación ponderada promedio simple para cada una de las tres categorías por separado para la estandarización y optimización de diferentes parámetros de propiedad, así como para identificar y seleccionar algunas muestras para un tratamiento adicional resistente a la pudrición con betún para mejorar la esperanza de vida. Para clasificar dentro del rango especificado de densidad del área de la tela, cada parámetro de propiedad de cada muestra se pondera proporcionalmente en comparación con los mejores valores obtenidos en ese criterio de parámetro de propiedad para otorgar diez puntos (10) mientras que el resto de los valores obtenidos inferiores al mejor valor se han ponderado proporcionalmente. Finalmente, considerando todos los parámetros de propiedad juntos, se determinó el promedio simple para obtener el rango dentro de esa clase. Se seleccionaron seis de esas muestras, tres de categoría de gsm media y tres de gsm alta. No se eligió ninguna muestra para el tratamiento resistente a la putrefacción a partir de muestras de tela no tejida de yute perforada con aguja de gsm bajo ya que se encontró que estas telas no cumplen con el requisito de criterios de propiedad mínima para geotextiles con aplicaciones específicas de uso final.

Para la aplicación de betún en todas las telas no tejidas de yute gris seleccionadas, se adoptó una técnica de tratamiento de betún emulsionado con un porcentaje de absorción variable del 60, 70, 80% respectivamente para mejorar la propiedad de resistencia a la putrefacción. La emulsificación de betún con emulsionante catiónico y otros aditivos apropiados se llevaron a cabo en un aparato mezclador coloidal de rotación rápida de aproximadamente 2000-5000 rpm.

Se introdujeron gotas de betún fundido y de agua caliente a través de dos orificios separados en el aparato, que ya contiene un baño de ácido HCl con un derivado de amina de cadena larga estándar como emulsionante, agentes antideslizantes para aumentar la flexibilidad de la capa de betún y un producto químico estabilizador que actúa como aditivo.

Los rollos de tela no tejida de yute seleccionadas se alimentaron en escuadra a través de rollos guía y rollos tensores de la máquina de impregnación de betún, lo

que hace que el extremo delantero de la tela entre en los puntos entre los dos rollos (rollo de cobre inferior de mayor diámetro, cubierto con tela de fieltro sumergido en betún emulsionado de concentración conocida y nivel específico y un rodillo de compresión superior metálico de diámetro inferior, cubierto con manta de goma).

Esta disposición tiene dosis controladas de absorción de betún emulsionado controlando la concentración, el nivel del betún emulsionado en el baño de impregnación, la presión de compresión, etc. Después de esto se realizó el secado en una cámara de aire caliente para la eliminación controlada del agua en forma de vapor de humedad con otros 5-6 m de paso de tela en la atmósfera ambiente para enfriar, fraguar la película de betún y evaporar el vapor de agua residual antes de que finalmente las telas hayan sido heridas.

Después del tratamiento con betún emulsionado, se evaluaron las propiedades de los tejidos mediante el ensayo de diferentes propiedades funcionales físicas y geotécnicas cuyos resultados fueron:

**Tabla 18** Datos experimentales sobre las propiedades dimensionales y funcionales de muestras de telas no tejidas perforadas con aguja tratadas con betún (betún emulsionado) seleccionadas de una amplia gama de GSM (600-1.000 gsm)

Grey and bitumen treated fabric sample Nos.	Bitumen add on %	Dimensional property/functional property of bitumen treated fabric with different percentage of application															
		FAD*	FBT	FBD	CBR	Breaking load (kN/m)		Tenacity (cN/tex)		Breaking extension (%)		BUS	CVD	WPMB	PMV	APMB	AOS
						TMD	TXMD	TTMD	TTXMD	BEMD	BEXMD						
1.	**	427	3.45	0.12	0.24	1.55	4.11	0.36	0.96	42.40	16.50	1,370.46	20.0	0.552	1.60	93.52	210
1(a)	60	682	3.79	0.18	0.28	2.52	6.98	0.37	1.02	35.61	14.52	1,644.55	15.0	0.358	0.95	56.11	180
1(b)	70	723	3.86	0.19	0.31	2.89	8.01	0.39	1.11	27.68	12.87	1,781.59	10.4	0.342	0.88	50.50	168
1(c)	80	770	3.96	0.19	0.29	2.82	7.65	0.37	0.99	33.49	13.53	1,685.66	12.4	0.303	0.76	42.07	156
2.	**	516	3.11	0.17	0.29	1.92	4.98	0.37	0.97	34.65	16.98	2,511.16	15.6	0.454	1.46	69.46	210
2(a)	60	827	3.42	0.24	0.34	3.12	8.01	0.38	0.97	29.79	14.60	3,063.61	11.0	0.281	0.82	39.59	164
2(b)	70	880	3.52	0.25	0.37	3.60	8.76	0.41	0.99	25.98	12.93	3,199.51	8.2	0.267	0.76	35.49	154
2(c)	80	930	3.60	0.26	0.35	3.40	8.52	0.37	0.92	27.02	14.09	3,038.56	9.8	0.245	0.68	28.47	148
3.	**	616	3.33	0.18	0.39	2.10	4.94	0.34	0.802	38.68	19.46	3,352.20	14.0	0.439	1.32	65.56	230
3(a)	60	984	3.69	0.27	0.45	3.46	8.54	0.35	0.87	31.71	16.93	3,422.00	10.6	0.263	0.71	32.12	154
3(b)	70	1,045	3.79	0.28	0.49	3.86	9.68	0.37	0.93	24.30	14.99	3,612.00	6.4	0.254	0.67	29.15	140
3(c)	80	1,105	3.86	0.29	0.47	3.52	8.89	0.32	0.80	30.17	16.15	3,410.00	7.8	0.223	0.57	24.91	126
4.	**	692	4.38	0.16	0.39	2.49	4.74	0.36	0.68	34.23	19.02	1,418.15	12.6	0.280	0.64	35.12	210
4(a)	60	1,103	4.90	0.23	0.46	4.02	7.87	0.36	0.71	27.38	16.35	1,701.78	7.8	0.165	0.33	16.50	120
4(b)	70	1,175	5.03	0.23	0.49	4.48	8.79	0.38	0.75	23.10	13.00	1,839.50	5.4	0.151	0.30	13.69	108
4(c)	80	1,243	5.17	0.24	0.49	4.44	8.55	0.36	0.72	26.12	15.15	1,750.35	7.4	0.131	0.25	10.48	96
5.	**	806	4.66	0.17	0.39	2.79	5.22	0.35	0.65	23.63	15.45	1,646.67	11.8	0.279	0.60	31.94	180
5(a)	60	1,285	5.26	0.24	0.47	4.67	8.62	0.36	0.67	20.79	13.59	1,910.17	2.6	0.156	0.29	13.42	86
5(b)	70	1,365	5.40	0.25	0.48	5.35	9.34	0.39	0.68	19.37	12.51	2,019.37	1.8	0.136	0.25	10.68	62
5(c)	80	1,445	5.54	0.26	0.52	6.09	10.02	0.42	0.69	15.77	11.10	2,173.99	0.8	0.117	0.21	7.42	56
6.	**	965	5.66	0.17	0.55	4.92	11.53	0.51	1.19	30.54	19.43	2,020.40	7.6	0.158	0.28	19.33	138
6(a)	60	1,538	6.50	0.24	0.66	7.87	18.57	0.51	1.21	25.26	15.22	2,404.27	1.2	0.075	0.11	7.13	58
6(b)	70	1,633	6.70	0.24	0.68	8.43	19.85	0.52	1.22	23.59	13.97	2,591.88	0.2	0.060	0.08	4.12	40
6(c)	80	1,726	6.94	0.249	0.72	8.94	21.00	0.53	1.22	18.56	10.88	2,781.01	0.0	0.039	0.05	1.86	30

\* FAD fabric area density (gm<sup>-2</sup>), FBT fabric thickness (mm), FBD fabric bulk density (g cm<sup>-3</sup>), CBR puncture resistance (kN), TMD tensile strength in machine direction (kNm<sup>-1</sup>), TXMD tensile strength in cross machine direction (kNm<sup>-1</sup>), TTMD tenacity in machine direction (cN tex<sup>-1</sup>), TTXMD tenacity in cross machine direction (cN tex<sup>-1</sup>), BEMD breaking extension in machine direction (%), BEXMD breaking extension in cross machine direction (%), WPMB water permeability (cms<sup>-1</sup>), PMV Permittivity (s<sup>-1</sup>), APMB air permeability (m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>), AOS apparent opening size at O<sub>95</sub> (micron), BUS bursting strength (kPa), CVD cone drop value (mm)

\*\* Grey jute based needlepunched nonwoven fabric sample

**Fuente:** Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needle punched Geotextiles Through Bitumen Treatment. <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>



En el proceso para la prueba de enterramiento del suelo, el suelo compostado se extendió en una capa delgada sobre cada una de las seis muestras y luego se enrolló ligeramente en forma de cilindro. Cada una de las muestras se colocó por separado en vasos de precipitados cónicos, cada uno de 125 ml de capacidad, que contienen una fina capa de tierra en el fondo. Se vertió una cantidad suficiente de tierra preparada para cubrir los lados y la parte superior de las muestras, poniendo así ambos lados de la muestra en contacto con el suelo. Cada vaso se cerró con un corcho y un poco de algodón insertado en el pico y se mantuvieron en la incubadora a  $30 \pm 2$  °C. Los ejemplares se mantuvieron en esta condición por diferentes periodos de tiempo (21, 30, 90, 180, 270 y 365 días de duración respectivamente). Al final de cada uno de los períodos de tiempo de enterramiento se extrajo cada tipo de muestras de tela, se lavó suavemente con agua corriente, manteniéndose cubierto en un recipiente que contenía alcohol etílico durante 2 horas y finalmente se secó al aire.

Después, se evaluaron los principales parámetros de propiedades mecánicas e hidráulicas de las telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute antes y después del proceso de prueba de enterramiento del suelo siguiendo el método de prueba estándar BIS correspondiente. Los resultados fueron:

**Tabla 19** Datos experimentales de esperanza de vida (durabilidad) de algunas telas no tejidas perforadas con aguja a base de yute tratadas con betún después de la optimización de las propiedades geotécnicas

Bitumen treated fabric sample No.	No. of days of soil burial	Dimensional property/functional property of bitumen treated fabric with different percentage of application												BUS	CVD	WPMB	PMV	AOS	
		FAD*	FBT	FBD	CBR	Breaking load (kn/m)		Tenacity (cN/tex)		Breaking extension (%)		BEMD	BEXMD						
						TMD	TXMD	TTMD	TTXMD										
1(b)	—	723	3.86	0.19	0.31	2.89	8.01	0.39	1.11	27.68	12.87			1,781.59	10.4	0.342	0.88	168	
Bitumen Add on 70 %	21 days	745	4.01	0.19	0.29	2.74	7.36	0.37	0.99	23.52	11.06			1,639.06	10.8	0.273	0.68	142	
	90 days	760	4.09	0.18	0.28	2.60	7.04	0.34	0.93	22.14	10.16			1,585.61	11.0	0.256	0.62	131	
	180 days	780	4.22	0.18	0.26	2.45	6.56	0.31	0.84	21.31	9.65			1,430.65	11.6	0.235	0.55	114	
	270 days	802	4.36	0.18	0.24	2.31	6.24	0.29	0.78	18.52	8.75			1,398.25	12.8	0.212	0.48	100	
	360 days	816	4.48	0.18	0.22	2.02	5.36	0.25	0.66	17.92	7.99			1,211.08	13.4	0.108	0.24	83	
2(b)	—	880	3.52	0.25	0.39	3.60	8.76	0.41	0.99	25.98	12.93			3,199.51	8.2	0.267	0.76	154	
Bitumen Add on 70 %	21 days	913	3.67	0.25	0.35	3.38	8.05	0.37	0.88	22.08	11.11			2,975.54	8.6	0.213	0.58	128	
	90 days	924	3.82	0.24	0.33	3.20	7.79	0.35	0.84	20.95	10.05			2,879.55	9.0	0.197	0.51	119	
	180 days	946	3.98	0.24	0.31	3.06	7.27	0.32	0.77	19.52	9.82			2,751.57	9.4	0.179	0.44	104	
	270 days	959	4.16	0.23	0.28	2.80	6.92	0.29	0.72	17.66	8.79			2,591.60	10.6	0.161	0.38	89	
	360 days	1,002	4.39	0.23	0.26	2.44	5.95	0.24	0.59	16.05	8.14			2,107.52	11.6	0.109	0.24	76	
3(b)	—	1,045	3.79	0.28	0.49	3.86	9.68	0.37	0.93	24.30	14.99			3,612.00	6.4	0.254	0.67	140	
Bitumen Add on 70 %	21 days	1,080	3.97	0.27	0.47	3.60	8.90	0.33	0.82	21.38	13.12			3,377.22	6.8	0.198	0.49	115	
	90 days	1,092	4.09	0.27	0.44	3.43	8.61	0.31	0.79	19.92	11.99			3,211.51	7.2	0.185	0.45	107	
	180 days	1,123	4.26	0.26	0.42	3.24	8.03	0.29	0.72	18.02	10.85			3,052.20	8.2	0.171	0.40	93	
	270 days	1,144	4.38	0.26	0.39	3.01	7.64	0.26	0.67	17.11	9.52			2,815.72	8.6	0.152	0.34	82	
	360 days	1,202	4.63	0.26	0.36	2.62	6.58	0.22	0.55	15.52	8.69			2,492.77	8.8	0.115	0.28	68	
4(b)	—	1,175	5.03	0.23	0.49	4.48	8.79	0.38	0.75	23.10	13.00			1,839.50	5.4	0.151	0.30	108	
Bitumen Add on 70 %	21 days	1,216	5.28	0.23	0.46	4.16	8.17	0.34	0.67	19.63	11.05			1,710.73	5.2	0.117	0.22	90	
	90 days	1,228	5.42	0.23	0.44	3.98	7.77	0.32	0.63	18.79	10.14			1,673.94	5.8	0.111	0.20	83	
	180 days	1,252	5.58	0.22	0.41	3.76	7.05	0.30	0.56	17.98	9.36			1,581.97	6.6	0.102	0.18	72	
	270 days	1,287	5.78	0.22	0.39	3.49	6.80	0.27	0.52	17.01	8.58			1,453.20	6.8	0.096	0.16	62	
	360 days	1,330	5.99	0.22	0.33	3.04	6.11	0.23	0.46	15.49	8.02			1,269.25	7.0	0.081	0.13	50	
5(c)	—	1,445	5.54	0.26	0.52	6.09	10.02	0.42	0.69	15.77	11.10			2,173.99	0.8	0.117	0.21	56	
Bitumen Add on 80 %	21 days	1,480	5.81	0.25	0.49	4.84	9.22	0.33	0.62	13.08	10.05			2,021.81	1.2	0.090	0.15	47	
	90 days	1,515	5.98	0.25	0.47	4.64	8.70	0.31	0.57	12.02	8.65			1,956.59	1.6	0.086	0.14	42	
	180 days	1,553	6.14	0.25	0.44	4.28	8.31	0.28	0.54	11.32	8.10			1,847.89	2.2	0.079	0.12	37	
	270 days	1,582	6.26	0.25	0.41	4.18	8.10	0.27	0.51	10.19	7.52			1,782.67	2.8	0.072	0.11	32	
	360 days	1,645	6.66	0.25	0.36	3.67	7.28	0.22	0.44	9.91	6.84			1,591.79	3.2	0.059	0.08	30	
6(c)	—	1,726	6.94	0.25	0.72	8.94	21.00	0.52	1.22	18.56	10.88			2,781.01	0.0	0.039	0.05	30	
Bitumen Add on 80 %	21 days	1,778	7.32	0.24	0.67	8.49	19.80	0.48	1.11	14.84	8.92			2,621.95	0.0	0.030	0.04	24	
	90 days	1,810	7.49	0.24	0.64	8.13	18.56	0.45	1.03	13.92	8.32			2,502.90	0.0	0.026	0.03	22	

**Fuente:** Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needle punched Geotextiles Through Bitumen Treatment. <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>

Debido a que en este estudio el valor que nos proporcionan es la carga de aplicación (kn) y la norma en que especifican el ensayo de enterramiento no se encuentra disponible, se asumirá el dato de penetración con base en las pautas de ASTM International, conocida como la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), que es una organización estándar mundialmente reconocida que desarrolla y publica estándares técnicos consensuados para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios que se aceptan globalmente. En ausencia de estándares internacionales sobre JGT, se siguen las pautas y el protocolo de prueba de ASTM.

**Tabla 20** Valores de penetración y presión ensayo CBR

Penetración		Presión		
mm	in	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>
2.54	0.1	6.9	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

Para este caso, se asumirá la penetración de 0.2 in y este valor es el estándar para Colombia para realizar estas pruebas.

**Tabla 21** Valor del esfuerzo para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80%

Muestra de tela 5c con adición de betún al 80%						
Nº de días de enterramiento	Carga (Kn)	Carga (lb)	Penetración (in)	Diámetro (in)	Área (in <sup>2</sup> )	Esfuerzo (PSI)
21 Días	0.49	110.16	0.2	1.95	3	36.72
90 Días	0.47	105.66	0.2	1.95	3	35.22
180 Días	0.44	98.92	0.2	1.95	3	32.97
270 Días	0.41	92.17	0.2	1.95	3	30.72
360 Días	0.36	80.93	0.2	1.95	3	26.98

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

Para calcular el CBR (%) se aplicará la siguiente ecuación:

$$CBR_{0.2 \text{ in}} = \frac{\text{Esfuerzo PSI}}{1500 \text{ PSI}} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dando como resultado:

**Tabla 22** Valor de CBR % para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80%

Muestra de tela 5c con adición de betún al 80%				
Nº de días de enterramiento	Carga (lb)	Penetración (in)	Esfuerzo (PSI)	CBR (%)
21 Días	110.16	0.2	36.72	2.4
90 Días	105.66	0.2	35.22	2.3
180 Días	98.92	0.2	32.97	2.2
270 Días	92.17	0.2	30.72	2.0
360 Días	80.93	0.2	26.98	1.8

Fuente: Propia adaptada en Excel

Dado que en este estudio no se determinó el parámetro de resistencia de Mr, éste se obtendrá por medio de la expresión recomendada en la guía Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (AASHTO, 2015) determinada en el laboratorio de Transporte e Investigación de Carreteras del Reino Unido (TRRL), propuesta por Powell et al. Corresponde a:

Para suelos entre el 2% y 12% de CBR:

$$2\% \leq CBR \leq 12\% \quad Mr = 17.6 * CBR^{0.64} \quad (\text{Mr en MPa}) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Para suelos entre el 12% y 80% de CBR:

$$12\% \leq CBR \leq 80\% \quad Mr = 22.1 * CBR^{0.55} \quad (\text{Mr en MPa}) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Con base en los valores obtenidos de CBR, se deberá aplicar la ecuación:

$$2\% \leq CBR \leq 12\% \quad Mr = 17.6 * CBR^{0.64} \quad (\text{Ecuación 5})$$

**Tabla 23** Valor de Mr (MPa) para muestra de tela 5c con adición de betún del 80%

Muestra de tela 5c con adición de betún al 80%		
Nº de días de enterramiento	CBR (%)	Mr (MPa)
21 Días	2.4	31.21
90 Días	2.3	30.39
180 Días	2.2	29.14
270 Días	2.0	27.85
360 Días	1.8	25.62

Fuente: Propia adaptada en Excel

## Análisis de resultados para el ensayo de laboratorio del Geotextil de yute no tejido tratado con betún

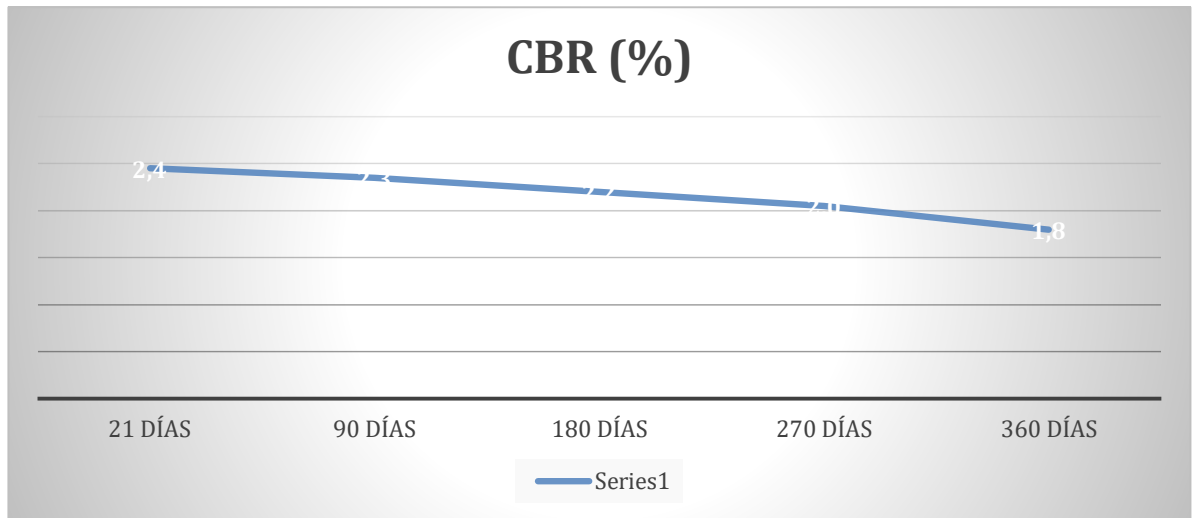
La impregnación de betún en muestras de tela no tejida perforada con aguja a base de yute, disminuye proporcionalmente la permeabilidad al agua, permitividad, permeabilidad al aire, así como el tamaño de apertura aparente (AOS) para todas las categorías estudiadas, debido a que la estructura aglomerada impregnada con betún reduce el tamaño de los poros por la superposición de la capa aglutinante de betún que se forma en la superficie de ambos lados de la tela, así como en el entrelazado capa-capa que muestra una reducción medible en todas sus propiedades antes mencionadas.

**Tabla 24** Disminución de la permeabilidad del agua, permitividad y tamaño de apertura aparente

Bitumen treated fabric sample No.	No. of days of soil burial	Dimensional property/functional property of bitumen treated fabric with different percentage of application														
		FAD*	FBT	FBD	CBR	Breaking load (kn/m)		Tenacity (cN/tex)		Breaking extension (%)		BUS	CVD	WPMB	PMV	AOS
						TMD	TXMD	TTMD	TTXMD	BEMD	BEXMD					
1(b)	—	723	3.86	0.19	0.31	2.89	8.01	0.39	1.11	27.68	12.87	1,781.59	10.4	0.342	0.88	168
Bitumen Add on 70 %	21 days	745	4.01	0.19	0.29	2.74	7.36	0.37	0.99	23.52	11.06	1,639.06	10.8	0.273	0.68	142
	90 days	760	4.09	0.18	0.28	2.60	7.04	0.34	0.93	22.14	10.16	1,585.61	11.0	0.256	0.62	131
	180 days	780	4.22	0.18	0.26	2.45	6.56	0.31	0.84	21.31	9.65	1,430.65	11.6	0.235	0.55	114
	270 days	802	4.36	0.18	0.24	2.31	6.24	0.29	0.78	18.52	8.75	1,398.25	12.8	0.212	0.48	100
	360 days	816	4.48	0.18	0.22	2.02	5.36	0.25	0.66	17.92	7.99	1,211.08	13.4	0.108	0.24	83
2(b)	—	880	3.52	0.25	0.39	3.60	8.76	0.41	0.99	25.98	12.93	3,199.51	8.2	0.267	0.76	154
Bitumen Add on 70 %	21 days	913	3.67	0.25	0.35	3.38	8.05	0.37	0.88	22.08	11.11	2,975.54	8.6	0.213	0.58	128
	90 days	924	3.82	0.24	0.33	3.20	7.79	0.35	0.84	20.95	10.05	2,879.55	9.0	0.197	0.51	119
	180 days	946	3.98	0.24	0.31	3.06	7.27	0.32	0.77	19.52	9.82	2,751.57	9.4	0.179	0.44	104
	270 days	959	4.16	0.23	0.28	2.80	6.92	0.29	0.72	17.66	8.79	2,591.60	10.6	0.161	0.38	89
	360 days	1,002	4.39	0.23	0.26	2.44	5.95	0.24	0.59	16.05	8.14	2,107.52	11.6	0.109	0.24	76
3(b)	—	1,045	3.79	0.28	0.49	3.86	9.68	0.37	0.93	24.30	14.99	3,612.00	6.4	0.254	0.67	140
Bitumen Add on 70 %	21 days	1,080	3.97	0.27	0.47	3.60	8.90	0.33	0.82	21.38	13.12	3,377.22	6.8	0.198	0.49	115
	90 days	1,092	4.09	0.27	0.44	3.43	8.61	0.31	0.79	19.92	11.99	3,211.51	7.2	0.185	0.45	107
	180 days	1,123	4.26	0.26	0.42	3.24	8.03	0.29	0.72	18.02	10.85	3,052.20	8.2	0.171	0.40	93
	270 days	1,144	4.38	0.26	0.39	3.01	7.64	0.26	0.67	17.11	9.52	2,815.72	8.6	0.152	0.34	82
	360 days	1,202	4.63	0.26	0.36	2.62	6.58	0.22	0.55	15.52	8.69	2,492.77	8.8	0.115	0.28	68
4(b)	—	1,175	5.03	0.23	0.49	4.48	8.79	0.38	0.75	23.10	13.00	1,839.50	5.4	0.151	0.30	108
Bitumen Add on 70 %	21 days	1,216	5.28	0.23	0.46	4.16	8.17	0.34	0.67	19.63	11.05	1,710.73	5.2	0.117	0.22	90
	90 days	1,228	5.42	0.23	0.44	3.98	7.77	0.32	0.63	18.79	10.14	1,673.94	5.8	0.111	0.20	83
	180 days	1,252	5.58	0.22	0.41	3.76	7.05	0.30	0.56	17.98	9.36	1,581.97	6.6	0.102	0.18	72
	270 days	1,287	5.78	0.22	0.39	3.49	6.80	0.27	0.52	17.01	8.58	1,453.20	6.8	0.096	0.16	62
	360 days	1,330	5.99	0.22	0.33	3.04	6.11	0.23	0.46	15.49	8.02	1,269.25	7.0	0.081	0.13	50
5(c)	—	1,445	5.54	0.26	0.52	6.09	10.02	0.42	0.69	15.77	11.10	2,173.99	0.8	0.117	0.21	56
Bitumen Add on 80 %	21 days	1,480	5.81	0.25	0.49	4.84	9.22	0.33	0.62	13.08	10.05	2,021.81	1.2	0.090	0.15	47
	90 days	1,515	5.98	0.25	0.47	4.64	8.70	0.31	0.57	12.02	8.65	1,956.59	1.6	0.086	0.14	42
	180 days	1,553	6.14	0.25	0.44	4.28	8.31	0.28	0.54	11.32	8.10	1,847.89	2.2	0.079	0.12	37
	270 days	1,582	6.26	0.25	0.41	4.18	8.10	0.27	0.51	10.19	7.52	1,782.67	2.8	0.072	0.11	32
	360 days	1,645	6.66	0.25	0.36	3.67	7.28	0.22	0.44	9.91	6.84	1,591.79	3.2	0.059	0.08	30
6(c)	—	1,726	6.94	0.25	0.72	8.94	21.00	0.52	1.22	18.56	10.88	2,781.01	0.0	0.039	0.05	30
Bitumen Add on 80 %	21 days	1,778	7.32	0.24	0.67	8.49	19.80	0.48	1.11	14.84	8.92	2,621.95	0.0	0.030	0.04	24
	90 days	1,810	7.49	0.24	0.64	8.13	18.56	0.45	1.03	13.92	8.32	2,502.90	0.0	0.026	0.03	22

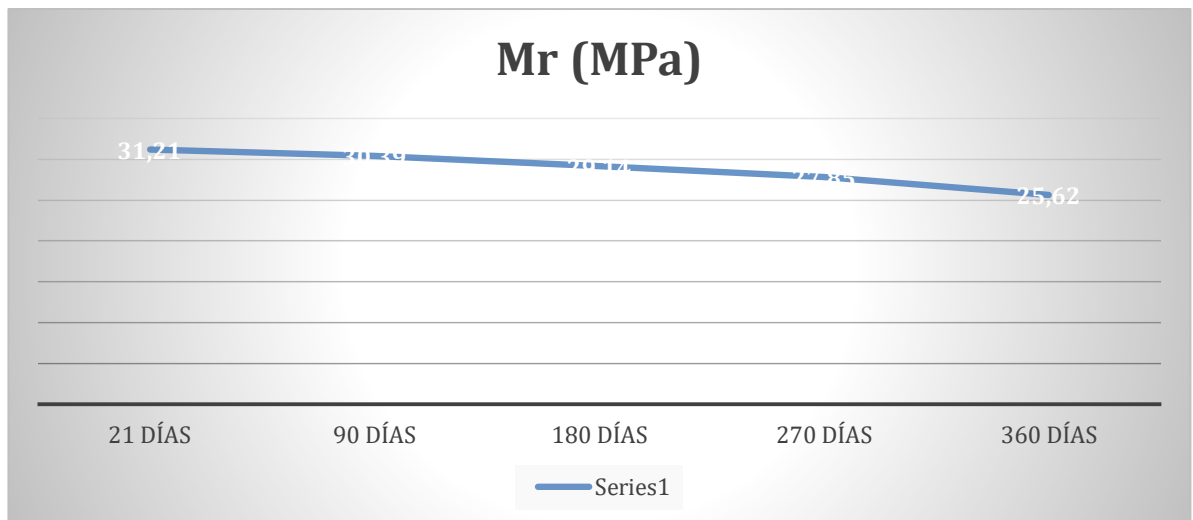
**Fuente:** Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needle punched Geotextiles Through Bitumen Treatment. <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>

**Gráfica 10** Valores de CBR para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80%



**Fuente:** Propia adaptada en Excel

**Gráfica 11** Valores de Mr para la muestra de tela 5c con adición de betún al 80%



**Fuente:** Propia adaptada en Excel

El valor de CBR y Módulo Resiliente posiblemente da un valor bajo ya que este estudio se realizó sobre un suelo compostado. Dentro de las bases de datos consultadas no se encontró suficiente información acerca del geotextil de yute no tejido tratado químicamente para el mejoramiento de las propiedades de una

subrasante. Además, el valor de CBR (1.8%) al pasar un año no alcanza a encontrarse dentro de la clasificación general “Muy pobre” y por este motivo no se tendrá en cuenta dentro del análisis de resultados final para la comparación y determinación de su viabilidad para implementarse en las vías de Colombia.

## 11 ANÁLISIS DE RESULTADOS LABORATORIOS

Para realizar el análisis se tendrá en cuenta los resultados obtenidos para el laboratorio de geotextil de yute tejido tratado químicamente con betún, el CBR y Mr de una sola capa de geotextil de yute para el suelo tipo limo (MI).

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos para cada material:

**Tabla 25** Resumen de los laboratorios

Comparación	Geotextil de yute tejido Tratado con betún	Geotextil tejido Convencional	Geotextil no tejido Convencional
CBR (%)	6.39	27.7	10
Mr (MPa)	61	142.74	76.18

Fuente: Propia adaptada en Excel

Se puede observar que el geotextil de yute tejido tratado químicamente con betún al compararlo con el geotextil convencional tejido y no tejido se encuentra en una clasificación mala de acuerdo a la tabla 26 evaluación de la subrasante debido a que este análisis se está realizando con el refuerzo de una sola capa de geotextil de yute tejido tratado químicamente con betún, este geotextil de yute tejido se puede usar en una subrasante de vías terciarias de bajo volumen. El geotextil convencional tejido se encuentra dentro del rango excelente y puede ser usado en vías de mayor volumen de tránsito y por último el geotextil no tejido convencional se encuentra dentro del rango regular a buena y su uso también se puede dar en subrasantes.

**Tabla 26** Evaluación de la subrasante

CBR	CLASIFICACIÓN CUALITATIVA DEL SUELO	USO
2-5	MUY MALA	SUB-RASANTE
5-8	MALA	SUB-RASANTE
8-20	REGULAR-BUENA	SUB-RASANTE
20-30	EXCELENTE	SUB-RASANTE
30-60	BUENA	SUB-BASE
60-80	BUENA	BASE
80-100	EXCELENTE	BASE

Fuente: Propia adaptada en Excel

Se puede analizar que el geotextil de yute tejido tratado químicamente con betún solo cubre un 42.7% del módulo resiliente con respecto al valor obtenido en el geotextil convencional.

### **CAPITULO 3**

#### **12 INSTALACIÓN DE GEOTEXTILES Y ANALISIS DE COSTOS**

El siguiente proceso constructivo se tomó de una guía proporcionada por GEOMATRIX llamada “Guía de Instalación de Geotextiles de Alto Módulo FORTEX para Refuerzo de Subrasantes”

El proceso constructivo consta de 3 actividades: Preparación del terreno, instalación del geotextil y colocación y compactación de las capas de material granular o suelo.

##### **12.1 Preparación del terreno**

Se deben corregir las irregularidades existentes en el terreno, removiendo rocas, troncos, arbustos y demás materiales protuberantes que se encuentran en la superficie. Para llegar a la rasante de diseño se recomienda excavar o rellenar y si las características del terreno lo permiten se recomienda compactar la superficie.

**Ilustración 17** Preparación del terreno



**Fuente:** GEOMATRIX [http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)



### 12.1.1 Instalación del geotextil

En esta actividad se desempacan y desenrollan los rollos sobre el terreno ó la vía. El geotextil se debe colocar tensionado dejando la longitud suficiente para el anclaje por fuera del área de aplicación de carga. Los rollos se deben extender en la dirección de avance de la construcción sin arrugas ni dobleces sobre la subrasante previamente preparada. En ningún caso pueden quedar vacíos ó zonas huecas que impidan el contacto total del geotextil con la superficie inferior. El extendido se podrá hacer de forma manual o con un equipo mecánico que se desplace mientras que mantiene el rollo levantado y tensionado. El extendido se podrá hacer de forma manual o con un equipo mecánico que se desplace mientras que mantiene el rollo levantado y tensionado.

**Ilustración 18** Extendido geotextil

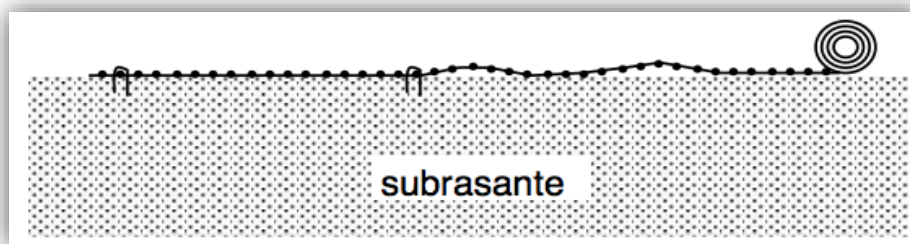


**Fuente:** GEOMATRIX [http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)

En el comienzo del rollo, el borde transversal (lado corto) se debe asegurar a la superficie con grapas metálicas en forma de “U” de 10 x 10 x 10 cm en varilla de acero de 6.4 o 9.5 mm ( $\frac{1}{4}$  o  $\frac{3}{8}$  pulg.). Se podrá colocar grapas adicionales a lo largo de la franja ajustando los bordes, la zona de traslapo central y donde se considere necesario para garantizar que el geotextil quede tensionado y libre de arrugas durante la disposición del material de conformación.



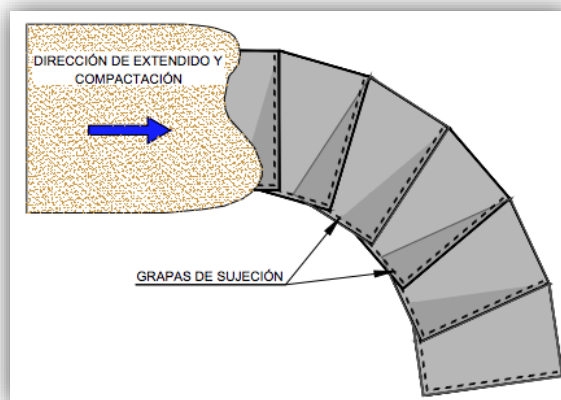
**Ilustración 19** Aseguración de la superficie con grapas



**Fuente:** ML ingeniería <https://mlingenieria.com/wp-content/uploads/2016/01/geotextil-procedimientos.pdf>

Para la instalación en curvas, el geotextil se puede doblar o cortar y traslapar para desarrollar la geometría de la curva. Todas las secciones traslapadas o dobladas se deben asegurar a la superficie

**Ilustración 20** Fijación de geotextil con grapas en curvas



**Fuente:** GEOMATRIX [http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)

En caso de hacerse juntas cosidas en lugar de los traslapos, se debe prever el tipo de costura a realizar, el tipo de hilo y el tipo de máquina de costura a utilizar.

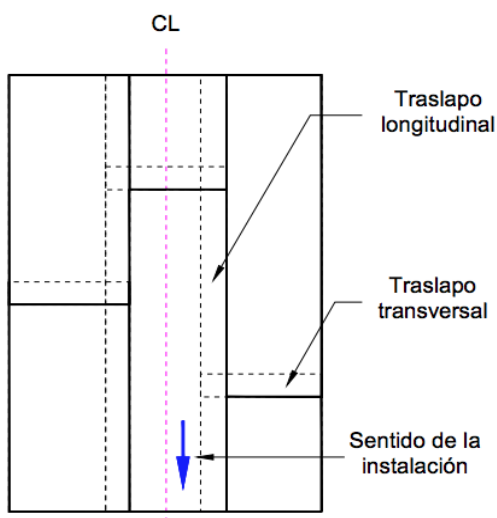
**Ilustración 21** Traslapo geotextil



**Fuente:** GEOMATRIX [http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICI ON\\_2013.pdf](http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICI ON_2013.pdf)

En las juntas transversales, el borde del rollo que inicia se debe dejar por debajo del que llega. A continuación, se muestra el traslazo longitudinal y transversal.

**Ilustración 22** Nomenclatura traslazos



**Fuente:** GEOMATRIX [http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICI ON\\_2013.pdf](http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICI ON_2013.pdf)

Para la definición de los traslazos se recomienda seguir el siguiente criterio:

**Tabla 27** Ancho de traslapos

CBR %	Traslapo (cm)
< 1	100
1 - 3	60
> 3	30

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

Antes de cubrir el geotextil se debe verificar que no se presenten daños sobre él. En caso tal, éstos se deben reparar antes de colocar el material de conformación.

### **12.1.2 Colocación de la capa granular**

El material deberá ser esparcido sobre el geotextil de modo que no produzca daños sobre éste. No se debe permitir el tránsito de equipos de construcción hasta tanto no se haya conformado la primera capa de material granular o suelo. Si el material presenta un tamaño máximo de partícula de 30 a 50 mm, el espesor de la primera capa compactada debe ser mayor a 30 cm. Por otro lado, si el material presenta un tamaño máximo de partícula menor a 30 mm, el espesor de la primera capa compactada debe ser mayor a 15 cm.

**Ilustración 23** Colocación material granular



**Fuente:** GEOMATRIX [http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)

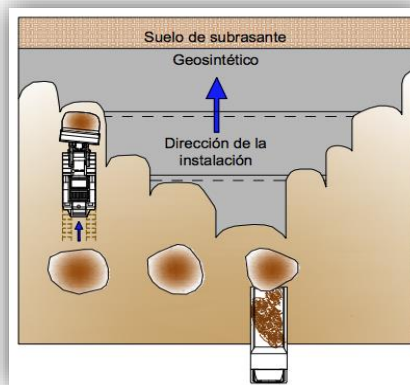
### 12.1.3 Colocación del material de conformación

Para extender el material de conformación sobre el geotextil se debe seguir uno de los dos métodos que se presentan a continuación. El método A se utiliza para condiciones de suelos muy blandos con formación de ola de lodo (CBR < 1) y el método B donde se tenga CBR > 1 y no se presente formación de ola de lodo.

Método A, para CBR < 1:

Se coloca la capa o capas de material de conformación de afuera hacia adentro del terraplén. Los equipos a utilizar deben ser compatibles con las consideraciones de diseño de la estructura reforzada, en lo posible utilizar equipos de tipo liviano. Se debe procurar no colocar pilas o montículos de material sobre el geotextil puesto que se podrían presentar hundimientos. Las pilas de material en lo posible deben tener menos de 1 m de altura para evitar fallas locales. Las pilas separadas evitan la ocurrencia de asentamientos locales. Durante el proceso de extensión y compactación del material, se debe procurar formar una “U” simétrica con el eje de la estructura, con el objeto de evitar la formación de olas de lodo y hundimientos.

**Ilustración 24** Instalación material granular Método A



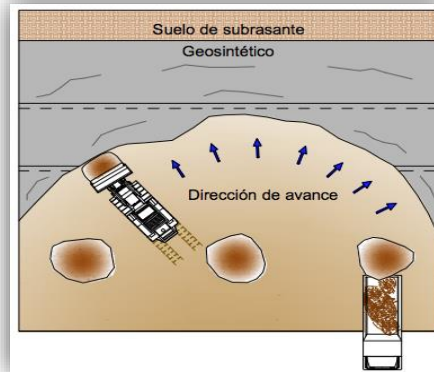
**Fuente:** GEOMATRIX [http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)

Método B, para CBR > 1:

Se debe colocar el material de conformación en el centro y extenderlo conservando la simetría de una “U” invertida. En este caso las arrugas y los dobleces se presentan con mayor frecuencia, por lo que el geotextil se debe tensionar a medida

que se avance en la colocación del material granular. Las pilas de material deben ser minimizadas para evitar los hundimientos locales.

**Ilustración 25** Instalación material granular Método B



**Fuente:** GEOMATRIX [http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTEX\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://tech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTEX_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)

El material de conformación deberá compactarse hasta lograr una densidad media del 95% de la obtenida en el ensayo Proctor. La densidad del material se irá incrementando gradualmente en la medida en que se supera el nivel de suelo blando compresible. Además, se deben realizar verificaciones periódicas al espesor del material de conformación para garantizar que el espesor de la capa sea el indicado en el diseño.

## 12.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA INSTALACION DE GEOTELTILES

El siguiente apartado se encuentra en los anexos.

Costo total para cada geotextil:

**Tabla 28** Costo total

COSTO TOTAL			
Geotextil Convencional		Geotextil de Yute	
Tejido	No tejido	Tejido	No tejido
\$195,642.98	\$195,354.01	\$200,450.42	\$197,723.96

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

El costo total de los geotextiles tanto convencional como de yute no varía mucho ya que las actividades de la instalación del geotextil no cambian, lo único que varía es el precio del geotextil.

De acuerdo al análisis económico, el geotextil de yute puede ser viable para su implementación en Colombia en sus vías terciarias de bajo volumen, ya que su costo total en comparación al convencional no difiere mucho. Se debe tener en cuenta que el geotextil de yute es un producto que se fabrica en Asia y el valor de su importación depende de la cantidad de geotextil que se solicite ya que el costo varía por m<sup>2</sup> o por contenedores. En este análisis de precios unitarios no se tuvo en cuenta el costo de importación.

### **12.2.1 ANALISIS VIDA ÚTIL**

Todos los estudios y aplicaciones de campo, especialmente en la construcción de carreteras de bajo volumen, corroboran que la biodegradación de JGT no es una desventaja técnica como se percibe comúnmente, ya que esta no se considera más allá de los 7 meses, convirtiéndose así en una preocupación secundaria.

Además, la ganancia de resistencia al corte debido a la consolidación cumple con el factor mínimo requerido de soportes de seguridad respaldados por un estudio de prototipo independiente en un terraplén de una carretera en Andhra Pradesh de India realizado por Central Road Research Institute (CRRI), Gobierno de India, dirigido por PJ Rao et al. De hecho, la consolidación del suelo se optimiza después de un breve período inicial que varía entre 7 y 12 meses, generalmente según el tipo de suelo, la extensión y la frecuencia de imposición de la carga y otros factores asociados relevantes. En los ensayos de campo realizados, el valor de CBR % de la subrasante aumentó en al menos 1,5 veces el valor de control después del período indicado. Igualmente, se observó que el % de CBR había aumentado progresivamente incluso después de la biodegradación de JGT de tres a cuatro veces.

Dentro de los geotextiles convencionales su vida útil se extiende alrededor de 5 a 10 años, al momento de realizar estudios del geotextil lo más normal es encontrar desgarres por piedras o raíces, pero sus funciones principales continúan, las fibras de los polímeros fueron atados químicamente por microorganismos existentes en el suelo, y la reducción de la fuerza a la tensión es del 20% al cabo de 8 años.

### 13 CONCLUSIONES

- Los geotextiles tanto sintéticos como naturales cumplen las funciones básicas de un geotextil, es decir, separación, filtración, drenaje y refuerzo.
- La instalación del geotextil convencional y el geotextil de yute no varía, ya que se realizan las mismas actividades y se tienen los mismos cuidados al momento de realizar esta acción.
- La pérdida de la resistencia del geotextil de yute se da aproximadamente después de un año de la instalación, pero no representa un problema ya que para ese lapso de tiempo el terreno ya ha adquirido una subrasante autosostenible con un mayor grado de resistencia.
- Los valores obtenidos con el geotextil de yute tejido para CBR y Mr (Tabla 25) están dentro de los estándares para Colombia siendo aceptable como el geotextil convencional. Por otro lado, el geotextil de yute no tejido tratado con betún no se pudo considerar dentro de la comparación en el análisis de resultados ya que los valores obtenidos del laboratorio no se encuentran dentro de los estándares para ser usado en las vías de Colombia siendo inaceptable.
- El geotextil de yute se ha vuelto popular en India y está teniendo una gran aceptación en las prácticas de construcción de carreteras de bajo volumen, ya que los geotextiles sintéticos son caros y no ecológicos, los sustitutos más económicos y ecológicos son los geotextiles de yute pudiendo aplicarse en las vías terciarias de Colombia.
- Con base en el análisis de costos, las características de resistencia y su vida útil el geotextil de yute sería una alternativa eficiente para suplir al geotextil convencional en el reforzamiento de subrasantes para vías de bajo volumen, considerando que disminuye significativamente la huella carbono al ser biodegradable.

## **14 RECOMENDACIONES**

- El costo final del geotextil de yute podría disminuir considerablemente si el geotextil se fabricara directamente en Colombia o en caso de no ser así, realizar un pedido considerable ayudando a disminuir el costo del producto y de la importación.
- Se recomienda implementar el geotextil de yute en vías de bajo volumen ya que aún no hay estudios de su comportamiento en vías de mayor volumen.
- Realizar un estudio detallado del suelo antes de elegir el geotextil que se va a utilizar ya que según su clasificación serán los beneficios brindados.



## BIBLIOGRAFIA

- Sanyal T. Strengthening of Road Sub-grade with Jute Geotextiles. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 65-88. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_6](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_6)
- SCRIBD. Resumen primera ponencia. {en línea} {18 agosto de 2020} disponible en <https://es.scribd.com/document/353861579/Resumen-Primera-Ponencia>.
- Ecorfan. Mezclas asfálticas con materiales alternativos de construcción y demolición para la relación de pavimentos {2014} disponible en <https://www.ecorfan.org/bolivia/handbooks/ciencias%20tecnologicas%20I/Articulo%206.pdf>
- SCRIBD. Estudio de la capacidad de soporte de la subrasante. {en línea} {2 septiembre de 2020} disponible en <https://es.scribd.com/document/376745243/Estudio-de-La-Capacidad-de-Soporte-de-La-Subrasante>
- TEXDELTA. como aumentar la resistencia de los suelos con baja capacidad portante. {en línea} {2 septiembre de 2020} disponible en <https://texdelta.com/blog/como-aumentar-la-resistencia-de-los-suelos-con-baja-capacidad-portante-en-proyectos-de-construccion/>
- GEOTEXAN. Geosinteticos. {en línea} {2 septiembre de 2020} disponible en <https://geotexan.com/diferencia-entre-geotextiles-tejidos-y-no-tejidos/>
- Geotextil de yute de 292 gr/m2 en ancho de 122cm. {en línea} {3 septiembre de 2020} disponible en <https://www.deyute.com/producto/geotextil-de-yute/89>
- Yute significado | Fibras Naturales | Deyute. {en línea} {12 Septiembre 2020} disponible en <https://www.deyute.com/es/el-yute-deyute>
- Sanyal T. Jute, Jute Fiber, and Jute Yarn. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 Agosto de 2020} Pg 7-17. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_2](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_2)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Fibras del Futuro. {en línea} {19 octubre de 2020} disponible en <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>
- GEOMATRIX. Guía de Instalación de Geotextiles de Alto Módulo FORTEX para Refuerzo de Subrasantes. {en línea} {17 octubre de 2020} disponible en [http://gtech.geomatrix.co/uploads/1472072623\\_Gua\\_de\\_instalacin\\_FORTE\\_X\\_para\\_refuerzo\\_de\\_subrasantes\\_EDICION\\_2013.pdf](http://gtech.geomatrix.co/uploads/1472072623_Gua_de_instalacin_FORTE_X_para_refuerzo_de_subrasantes_EDICION_2013.pdf)

- e-libro. Behavior of a dense mixture of asphalt in warm modified with waste of polychloride of vinyl. {en línea}. 2008. {12 Septiembre 2020} Disponible en <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/reader.action?docID=3185176&query=asfalto>
- Han, J., & Thakur, J. K. (2015). Sustainable roadway construction using recycled aggregates with geosynthetics. Sustainable Cities and Society.
- INSTITUTO TECNICO DE CONSTRUCCIÓN, A.C. {En línea}. {15 de noviembre 2016}. Disponible en: [https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Sanchez\\_Garcia\\_Laura\\_Elena\\_44622.pdf](https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Sanchez_Garcia_Laura_Elena_44622.pdf)
- Sanyal T. Jute Geotextiles: Its Types and Functions. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 19-31. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_3](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_3)
- RODRÍGUEZ, Carlos. Del total de la red vial terciaria con la que cuenta Colombia, 96% está en mal estado. En: La república. Bogotá: (15 febrero de 2019) {12 agosto de 2020} disponible en: <https://www.larepublica.co/infraestructura/del-total-de-la-red-vial-terciaria-con-la-que-cuenta-colombia-96-esta-en-mal-estado-2828335>
- Ghosh, S.K., Ray Gupta, K., Bhattacharyya, R. et al. Improvement of Life Expectancy of Jute Based Needlepunched Geotextiles Through Bitumen Treatment. {en línea} {28 agosto de 2020} disponible en: <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/s40034-014-0036-y>
- Midha, V.K., Joshi, S. & Suresh Kumar, S. Performance of Chemically Treated Jute Geotextile in Unpaved Roads at Different in situ Conditions. {en línea} {21 agosto de 2020} disponible en: <https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/article/10.1007/s40034-017-0093-0>
- Sanyal T. Jute Geotextile Standards, Properties, and Test Methods. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 127-140. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_11](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_11)
- Sanyal T. Future of Jute Geotextile. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 213-215. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6\\_18](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-10-1932-6_18)
- Choudhury P.K., Das A., Goswami D.N., Sanyal T. Bio-Engineering Approach with Jute Geotextile for Slope Stabilization. En: Li G., Chen Y., Tang X. Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering {en línea}. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. {21 agosto de 2020} Pg 863-864. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-3-540-69313-0\\_156](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-3-540-69313-0_156)

- Sanyal T. Potentially Important Jute Geotextiles. En: Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering {en línea}. Springer, Singapore, 2017. {20 agosto de 2020} Pg 149-161. Disponible en: [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-10-1932-6\\_13](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2070/chapter/10.1007/978-981-10-1932-6_13)
- HUETO GUERRERO, Alcides y MONTOYA MANJARRES, Andres. "ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS". Cartagena de Indias, 2017, 114p. Trabajo de investigación (Materiales de construcción). Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería.
- EBSCO. Bituminous emulsion as an ecological alternative in soil stabilizations for pavements, on low-intensity traffic roads. Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=9b6d83f4-7928-4084-87d0-687e031cb394%40sdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3d%3d#AN=edsdoj.f291fce19e8944c0b5b65d2018404c7c&db=edsdoj>
- NATIONAL JUTE BOARD. JUTE GEOTEXTILES IN ROADS – ECONOMICS & DESIGN ELEMENTS. {En línea}. {10 septiembre 2020}. Disponible en: [http://www.jute.com/documents/10437/0/JUTE\\_GEOTEXTILES\\_IN\\_ROADS\\_\\_\\_\\_ECONOMICS\\_\\_\\_\\_DESIGN\\_ELEMENTS.pdf/d31f0836-285a-4c40-af7c-f7ba80602969](http://www.jute.com/documents/10437/0/JUTE_GEOTEXTILES_IN_ROADS____ECONOMICS____DESIGN_ELEMENTS.pdf/d31f0836-285a-4c40-af7c-f7ba80602969)
- Mittal A., Shukla S. (2021) Soil Subgrade Stabilization Using Non-woven Polypropylene Geotextile. In: Pathak K.K., Bandara J.M.S.J., Agrawal R. (eds) Recent Trends in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 77. Springer, Singapore. [https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-15-5195-6\\_39](https://ezproxy.ucentral.edu.co:2067/10.1007/978-981-15-5195-6_39)

## ANEXOS

- Geotextil tejido convencional (GTC)

### Anexo 1 APU excavación GTC

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Excavacion + Retiro de suelo					M3
EQUIPO					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$2,734.67	1	\$2,734.67
Retroexcavadora sobre llantas (pajarita)		HORA	\$90,000.00	10	\$9,000.00
				SUBTOTAL	\$2,734.67
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
				SUBTOTAL	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia	Precio Unit.	Vr Unitario
Volqueta 6M3	m3/km	1.1	1	\$1,482.00	\$1,630.20
				SUBTOTAL	\$1,630.20
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	6.20	\$14,735.04
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	6.20	\$12,611.65
				SUBTOTAL	\$27,346.69
TOTAL COSTO DIRECTO					\$31,711.56
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$9,548.35
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$9,548.35
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$301.26
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$41,259.91

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 2** APU instalación GTC

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Instalacion de Geotextil T-2400					M2
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$247.74	1	\$247.74
				SUBTOTAL	\$247.74
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
GEOTEXTIL T-2400		M2	1.1	\$6,165.00	\$6,781.50
				SUBTOTAL	\$6,781.50
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
Ayunte Albañileria General	\$24,961.00	183%	\$45,678.63	50.00	\$913.57
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	50.00	\$1,563.84
				SUBTOTAL	\$2,477.42
TOTAL COSTO DIRECTO					\$9,506.66
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$2,862.46
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$2,862.46
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$90.31
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$12,369.11

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 3 APU relleno subbase GTC**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Subbase					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carro tanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr. Unitario	
Material subbase	M3	1.1	\$38,338.00	\$42,171.80	
				SUBTOTAL	\$42,171.80
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$44,645.97</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripción				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$13,442.90
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$13,442.90</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>			<b>UTILIDAD</b>		<b>\$424.14</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$58,088.88</b>

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 4** APU relleno base GTC

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Base					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Material base	M3	1.1	\$56,390.00	\$62,029.00	
				SUBTOTAL	\$62,029.00
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$64,503.17</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$19,421.91
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$19,421.91</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>					<b>\$612.78</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$83,925.08</b>

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

- Geotextil de yute tejido (GYT)

**Anexo 5** APU excavación GYT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Excavacion + Retiro de suelo					M3
EQUIPO					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$2,734.67	1	\$2,734.67
Retroexcavadora sobre llantas (pajarita)		HORA	\$90,000.00	10	\$9,000.00
				SUBTOTAL	\$2,734.67
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
				SUBTOTAL	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia	Precio Unit.	Vr Unitario
Volqueta 6M3	m3/km	1.1	1	\$1,482.00	\$1,630.20
				SUBTOTAL	\$1,630.20
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	6.20	\$14,735.04
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	6.20	\$12,611.65
				SUBTOTAL	\$27,346.69
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$31,711.56</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$9,548.35
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$9,548.35</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>					<b>\$301.26</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$41,259.91</b>

Fuente: Propia adaptada en Excel



**Anexo 6** APU instalación GYT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Instalacion de Geotextil de yute tejido					M2
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$247.74	1	\$247.74
				SUBTOTAL	\$247.74
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
GEOTEXTIL DE YUTE TEJIDO 292-1000 GSM		M2	1.1	\$9,524.00	\$10,476.40
				SUBTOTAL	\$10,476.40
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
Ayunte Albañileria General	\$24,961.00	183%	\$45,678.63	50.00	\$913.57
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	50.00	\$1,563.84
				SUBTOTAL	\$2,477.42
TOTAL COSTO DIRECTO					\$13,201.56
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$3,974.99
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$3,974.99
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$125.41
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$17,176.55

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 7** APU relleno subbase GYT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Subbase					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Material subbase	M3	1.1	\$38,338.00	\$42,171.80	
				SUBTOTAL	\$42,171.80
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$44,645.97</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$13,442.90
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$13,442.90</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>					<b>\$424.14</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$58,088.88</b>

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 8** APU relleno base GYT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Base					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Material base	M3	1.1	\$56,390.00	\$62,029.00	
				SUBTOTAL	\$62,029.00
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
TOTAL COSTO DIRECTO					\$64,503.17
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$19,421.91
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$19,421.91
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)					UTILIDAD
					\$612.78
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$83,925.08

Fuente: Propia adaptada en Excel

- Geotextil no tejido convencional (GNTC)

**Anexo 9** APU excavación GNTC

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Excavacion + Retiro de suelo					M3
EQUIPO					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$2,734.67	1	\$2,734.67
Retroexcavadora sobre llantas (pajarita)		HORA	\$90,000.00	10	\$9,000.00
				SUBTOTAL	\$2,734.67
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
				SUBTOTAL	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia	Precio Unit.	Vr Unitario
Volqueta 6M3	m3/km	1.1	1	\$1,482.00	\$1,630.20
				SUBTOTAL	\$1,630.20
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	6.20	\$14,735.04
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	6.20	\$12,611.65
				SUBTOTAL	\$27,346.69
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$31,711.56</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$9,548.35
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$9,548.35</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>					<b>\$301.26</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$41,259.91</b>

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 10** APU instalación GNTC

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Instalacion de Geotextil NT-2500					M2
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$247.74	1	\$247.74
				SUBTOTAL	\$247.74
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
GEOTEXTIL NT-2500	M2	1.1	\$5,963.09	\$6,559.40	
				SUBTOTAL	\$6,559.40
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
Ayudante Albañilería General	\$24,961.00	183%	\$45,678.63	50.00	\$913.57
Oficial Albañilería General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	50.00	\$1,563.84
				SUBTOTAL	\$2,477.42
TOTAL COSTO DIRECTO					\$9,284.56
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$2,795.58
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$2,795.58
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$88.20
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$12,080.14

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

**Anexo 11 APU relleno subbase GNTC**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Subbase					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Material subbase	M3	1.1	\$38,338.00	\$42,171.80	
				SUBTOTAL	\$42,171.80
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$44,645.97</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$13,442.90
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$13,442.90</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>					<b>\$424.14</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$58,088.88</b>

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

**Anexo 12 APU relleno base GNTC**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Base					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
Material base		M3	1.1	\$56,390.00	\$62,029.00
				SUBTOTAL	\$62,029.00
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
TOTAL COSTO DIRECTO					\$64,503.17
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$19,421.91
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$19,421.91
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$612.78
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$83,925.08

**Fuente:** Propia adaptada en Excel

- Geotextil de yute no tejido (GYNT)

**Anexo 13** APU excavación GYNT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Excavacion + Retiro de suelo					M3
EQUIPO					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$2,734.67	1	\$2,734.67
Retroexcavadora sobre llantas (pajarita)		HORA	\$90,000.00	10	\$9,000.00
				SUBTOTAL	\$2,734.67
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
				SUBTOTAL	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia	Precio Unit.	Vr Unitario
Volqueta 6M3	m3/km	1.1	1	\$1,482.00	\$1,630.20
				SUBTOTAL	\$1,630.20
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	6.20	\$14,735.04
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	6.20	\$12,611.65
				SUBTOTAL	\$27,346.69
TOTAL COSTO DIRECTO					\$31,711.56
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$9,548.35
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$9,548.35
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$301.26
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$41,259.91

Fuente: Propia adaptada en Excel



**Anexo 14** APU instalación GYNT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Instalacion de Geotextil de yute no tejido					M2
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$247.74	1	\$247.74
				SUBTOTAL	\$247.74
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
GEOTEXTIL DE YUTE NO TEJIDO 292-1000 GSM	M2	1.1	\$7,619.00	\$8,380.90	
				SUBTOTAL	\$8,380.90
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
Ayunte Albañileria General	\$24,961.00	183%	\$45,678.63	50.00	\$913.57
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	50.00	\$1,563.84
				SUBTOTAL	\$2,477.42
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$11,106.06</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$3,344.03
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$3,344.03</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>				<b>UTILIDAD</b>	<b>\$105.51</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$14,450.09</b>

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 15** APU relleno subbase GYNT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Subbase					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
Material subbase		M3	1.1	\$38,338.00	\$42,171.80
				SUBTOTAL	\$42,171.80
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañileria General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañileria General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
TOTAL COSTO DIRECTO					\$44,645.97
COSTOS INDIRECTOS					
Descripcion				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$13,442.90
TOTAL COSTO INDIRECTO					\$13,442.90
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)			UTILIDAD		\$424.14
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$58,088.88

Fuente: Propia adaptada en Excel

**Anexo 16** APU relleno base GYNT

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION					UNIDAD
Relleno Base					M3
EQUIPO Y TRANSPORTE					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Herramienta menor	GLOBAL	GLOBAL	\$47.10	1	\$47.10
Buldozer, Potencia al volante de 140 HP, motor de 2200 RPM, longitud de hoja 4,80m.			\$177,442.00	400	\$443.61
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$62,500.00	200	\$312.50
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$140,000.00	200	\$700.00
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$100,000.00	200	\$500.00
				SUBTOTAL	\$2,003.20
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr. Unitario	
Material base	M3	1.1	\$56,390.00	\$62,029.00	
				SUBTOTAL	\$62,029.00
MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
2 Ayuantes Albañilería General	\$49,922.00	183%	\$91,357.26	360.00	\$253.77
Oficial Albañilería General	\$42,728.00	183%	\$78,192.24	360.00	\$217.20
				SUBTOTAL	\$470.97
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$64,503.17</b>
COSTOS INDIRECTOS					
Descripción				Porcentaje	Total
ADMINISTRACIÓN (24,11%) - IMPREVISTOS (1%) - UTILIDAD (5%)				30.11%	\$19,421.91
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$19,421.91</b>
<b>IVA (19% SOBRE UTILIDAD)</b>					<b>\$612.78</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>					<b>\$83,925.08</b>

**Fuente:** Propia adaptada en Excel